

# 燃料サイクルの設計要求 に対する評価内容



(独)日本原子力研究開発機構

2006年4月



# 各燃料サイクルシステムの設計要求への適合可能性

設計要求		先進湿式法 + 簡素化ペレット法		金属電解法 + 射出鋳造法		先進湿式法 + スフェアパック		酸化物電解法 + バイパック		
		資源重視	経済性重視	資源重視	経済性重視	資源重視	経済性重視	資源重視	経済性重視	
安全性		設計要求への適合が可能 (現行の指針などを踏襲できる) ※超臨界直接抽出法では、高圧流体の取扱などを考慮した設計により設計要求への適合が可能		設計要求への適合が可能 (質量管理と化学形態管理を組み合わせた臨界管理、高温融体、活性金属などの取扱いを考慮した設計)		設計要求への適合が可能 (現行の指針などを踏襲できる)		設計要求への適合が可能 (塩素ガス、高温融体、活性金属などの取扱いを考慮した設計)		
経済性	再処理+燃料造) ≤ 0.8円/kWh	大型プラント[200t/y]	約60%	約45%	約65%	約55%	約80%	約65%		
		小型プラント[50t/y] (超臨界直接抽出法)	約135% (約120%)	約105% (約95%)	約80%	約75%				
	輸送・貯蔵・処分費 ≤ 0.3円/kWh	大型及び小型プラント (超臨界直接抽出法)	約100% (約95%)	約95% (約90%)	約145%	約140%	約100%	約95%	約120%	約110%
	燃料サイクルコスト ≤ 1.1円/kWh	大型プラント[200t/y]	約70%	約60%	約85%	約80%	約85%	約75%		
	小型プラント[50t/y] (超臨界直接抽出法)	約125% (約115%)	約100% (約95%)	約100%	約90%			約115%		
資源有効利用性	U及びTRUの回収率 ≥ 99%	基礎試験データから、99%以上を回収可能なプロセスの設計が可能						設計できる可能性がある (MA回収率確認が必要)		
環境負荷低減性	再処理	高レベル固化体体積 ≤ 0.5L/GWh	ホウケイ酸ガラス: 約60%		人工鉱物: 約110%		ホウケイ酸ガラス: 約60%		リン酸ガラス, 合金: 約80%	
		TRU及び高βγ廃棄物量 ≤ 1.6L/GWh	約85%		約35%		約85%		約60%	
核拡散抵抗性	Puが単独で存在しない		U,Pu,Npの共回収		U,TRUの共回収		U,Pu,Npの共回収		U,Puの共回収	
	難接近性の確保		低除染化による難接近性の確保							



# 1. 安全性の評価



# 燃料サイクルシステムの安全性評価

## 設計要求

同時代の軽水炉燃料サイクルシステムと同等以上(異常の発生要因を極力排除、異常の拡大防止など)

施設内での放射性物質の大規模放出事象\*の発生頻度を $10^{-6}$ /プラント・年未満に抑制し、その事象を想定しても、施設の閉じ込め能力を確保して、影響を周辺環境に及ぼさない設計

注)放射性物質の大規模放出事象

周辺公衆に放射線被ばくによる急性死亡を発生させる規模の放出を伴う事象

## 評価・判断の基準

適切な多重防護の実装を確認する。

<平常時放出量の評価>

- ・平常時放出による年間被ばく推定値が $50 \mu\text{Sv}$ 以下

<異常の発生防止(PS)・拡大防止(MS)>

- ・システムの特徴に基づく潜在的危険性を抽出
- ・異常発生防止策/拡大防止策の妥当性を定性的に評価・判断

<異常影響緩和(MS)>

異常発生防止/拡大防止が失敗した場合にでも、異常影響緩和策によって一般公衆に過度の放射線被ばくの影響を与えない設計となっていることを確認する。

- ・選定した代表事象(BAT相当)について $5\text{mSv}$ 以下となること。

異常拡大防止、異常影響緩和方策の重層的機能喪失を仮定し、そのリスクの大きさを評価。

- (1)その事象の発生頻度(重層的機能喪失の可能性)を計算。
- (2)それによって誘起される放射性物質の放出によって周辺的一般公衆に放射線被ばくによる急性死亡の可能性があるか計算。

(2)の結果から当該事象が「放射性物質の大規模放出事象」と判断される場合に、(1)で計算された発生頻度が $10^{-6}$ /年以下であること。

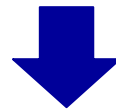
※受入燃料貯蔵および新燃料貯蔵施設は対象外とした。



## 平常時放出量による影響評価

### 平常事放出量による影響評価

- (1)施設での年間処理量を基に、排気筒からの放出量を計算
- (2)ATRENO/TERFOC-Nコード(\*)にて個人の被ばく量を計算



- ・先進湿式法システム(200tHM/y) ⇒ 約6.6  $\mu$  Sv
- ・金属電解法システム(38tHM/y) ⇒ 約0.76  $\mu$  Sv
- ・酸化物電解法システム(50tHM/y) ⇒ 約1.7  $\mu$  Sv

計算された結果はいずれも判断基準である  
年間50  $\mu$  Svを十分下回る。

(\*)ATRENO/TERFOC-Nコード:旧日本原子力研究所で開発された大気拡散モデルおよび食物連鎖モデルに基づく被ばく線量計算コード



# 先進湿式法システムの安全性評価(1/2)

## [先進湿式システムの特徴と設計対応]

### システムの特徴

#### ー水溶液を使用する

- ・減速系で臨界質量が小さい一方、形状管理に適している。
- ・沸点が低く、エアロゾル(ミスト)の発生源となる。⇒**負圧維持**による漏えい防止(動的閉じ込め)、短時間で沸騰する恐れのある槽類では**安全冷却水による冷却**
- ・硝酸水溶液による一次容器の腐食。⇒ 適切な材料の使用
- ・放射線分解による水素発生 ⇒ 水素発生量の大きな箇所では**安全圧空系による掃気**

#### ー溶媒を使用する

- ・火災の可能性 ⇒ 温度制限値の設定、加熱源の排除、引火源の排除、漏えい検知器の設置
- ・溶媒劣化や錯体の急激な分解反応による爆発の可能性 ⇒ 溶媒洗浄設備の付加、分離ポットの設置

#### ー配管系のシステム(連続、半連続処理)

- ・意図しない物質移動や、短期間に多量の物質移動が可能 ⇒ 安全上重要な送液ラインでは施錠管理

#### ー圧空等による送液を採用

- ・エアロゾル(ミスト)の発生 ⇒ 溶接構造等による一次閉じ込め系の気密確保、デミスタ・スクラバの設置

### 安全性に係わる従来PUREXとの差異

#### ー高燃焼度MA含有FBR燃料の処理

- ・アクチニドおよびFPのインベントリ増大 (特に内部被ばくで支配的な高次アクチニドを多く含む)
- ・Pu濃度の高い溶液の使用&晶析の導入 ⇒ **全濃度安全形状**による臨界安全設計
- ・溶媒劣化の影響が大きくなる ⇒ 接触時間の短い**遠心抽出器の採用**

#### ー処理規模の差

- ・FBR用として200tHM/yの処理規模 ⇒ 六カ所再処理工場は800tHM/y

#### ーMA回収工程を付加

- ・高レベル廃液の放射能は低下するが、高MA含有溶液(高発熱性で被ばく影響の大きい)を取り扱う。
- ・MA抽出クロマトグラフィの安全性 ⇒ **抽出塔の容積が小さい**ので放射能インベントリ自体は少ない。

#### ー主工程セルに遠隔保守を採用

- ・目視(ITVカメラ等)によるセル内の点検および遠隔による保全が可能

安全上考慮すべき事柄の多くについて、従来PUREXシステムと知見を共有することが出来る。



## 先進湿式法システムの安全性評価(2/2)

### 多重防護の適切な実装を確認

#### 【選定された代表事象】

- 抽出工程でセル内へ漏えいした溶媒による火災
  - 最もPu濃度の高い第一抽出器溶媒出口配管から漏えい。
  - 二重化された漏えい検知器および回収設備により回収。
  - 漏えい溶媒のうち0.1m<sup>3</sup>が回収されずに残る。
  - 火災により1/100が気相へ移行。
  - セル排気系の2段のHEPAフィルタのうち1段が機能喪失。

【評価結果】  $1.55 \times 10^{-2} \text{mSv}$

- 冷却機能喪失による高放射性廃液貯槽の沸騰
  - 安全冷却系が機能喪失。
  - 高放射性濃縮廃液貯槽(13m<sup>3</sup>)で崩壊熱により沸騰。
  - 1/1000がミストに同伴して気相へ移行。
  - VOG系2段のHEPAフィルタのうち1段が機能喪失。

【評価結果】  $7.28 \times 10^{-2} \text{mSv}$

- Am,Cm製品受槽からのMA含有溶液の漏えい
  - 高濃度のMA含有溶液(12g/L)を扱う受槽の配管から漏えい。
  - 異常に気付いて送液操作を停止するまで10分と仮定。
  - 漏えい時の飛沫により1/1000がミストに同伴して気相へ移行。
  - セル排気系の2段のHEPAフィルタのうち1段が機能喪失。

【評価結果】  $3.03 \times 10^{-2} \text{mSv}$

上記のいずれの評価も判断基準である  
5mSv以下を満足した。

### 多重防護の重層的機能喪失についてのリスクを評価

この評価では、設計された多重防護の複数のバリアが同時に機能喪失し、過度の放射性物質の放出が生じる事象の発生頻度と影響を評価。

- 抽出工程でセル内へ漏えいした溶媒による火災  
供給槽内の全ての溶媒(350m<sup>3</sup>)がセル内へ漏えいして引火する。  
《発生頻度》  $1.6 \times 10^{-12}/\text{年}$  《放出放射エネルギー》  $8.1 \times 10^{12} \text{Bq}$
- 冷却機能喪失による高発熱性溶液の沸騰  
安全冷却系により冷却を受けている全ての槽類(23基、350m<sup>3</sup>)が全て沸騰する。  
《発生頻度》  $1.3 \times 10^{-8}/\text{年}$  《放出放射エネルギー》  $1.2 \times 10^{15} \text{Bq}$
- Am,Cm製品受槽から漏えいしたMA含有溶液の沸騰  
Am,Cm製品受槽の全量が漏えいし、かつ沸騰する。  
《発生頻度》  $7.6 \times 10^{-7}/\text{年}$  《放出放射エネルギー》  $2.6 \times 10^{13} \text{Bq}$
- 抽出不良により高放射性廃液側へリークしたPuによる臨界  
第一抽出器にて抽出されずに非臨界安全形状の高放射性廃液貯槽にリークして臨界に到る。  
《発生頻度》  $3.4 \times 10^{-9}/\text{年}$  《放出放射エネルギー》  $4.4 \times 10^{15} \text{Bq}$

上記の放出放射エネルギーで被ばく計算を実施した結果、  
周辺公衆のうける被ばく線量は十分低く  
急性死亡にいたるほどの量ではなかった。

発生頻度が $10^{-6}/\text{年}$ 以上の事象で  
大規模放出を伴うものはない。





# 金属電解法システムの安全性評価(1/2)

## [金属電解法システムの特徴と設計対応]

### システムの特徴

#### ★プロセスに起因する特徴

##### ー非減速系

・臨界質量がkgオーダーだが、固体を扱うため形状管理は不適。 ⇒ 基本的に質量管理(バッチ処理)

##### ー反応性の高い金属状のアクチノドを使用する

・金属火災の可能性 ⇒ 不活性雰囲気(Ar)セル(雰囲気中の酸素、水分、窒素濃度の管理)

##### ー高温プロセス

・材料や構造材への影響

・排熱/除熱対策 ⇒ クローズドなセルと冷却系

セルの閉じ込め性能を向上

#### ★プラントコンセプトに起因する特徴

##### ー大型電解精製槽

・機器大型化により熔融塩中に溶解しているPuは180kgを越える。

⇒ 一般的な質量管理では対応できない ⇒ 「化学形態管理(化学形態毎に存在量を管理)」の併用

・電気化学プロセス特有の化学形態の制御安定性を利用。

・電氣的計装・動的制御を積極的に活用。

・ArセルとArカバーガス(装置内)による二重のバリアにより熔融塩中のPuの酸化沈殿を防止。

##### ー連続式陰極処理装置

・るつぼを連続的に処理装置に投入 ⇒ 個々のるつぼ内のPuは2.3kg程度

・るつぼ材料はグラファイト製(非金属高強度材料の一次容器 ⇒ MOX燃料の混合脱硝設備で実績有り)

##### ー機械的な物質移送(バッチ処理)

・意図しない物質移動や、短期間に多量の物質移動が起こりえない。

・一次系を気密にすることが難しい。 ⇒ 不純物(酸素)侵入防止のため動的閉じ込めは適用しない

##### ー主工程セルに遠隔保守を採用 & 自動化操業

⇒ 目視(ITVカメラ等)によるセル内の点検および遠隔による保全が可能。

⇒ 自動化により操作ミスの頻度を低減。





## 金属電解法システムの安全性評価(2/2)

### 多重防護の適切な実装を確認

#### 【選定された代表事象】

- ・電解精製槽からセル内への内容物の漏えい
    - ・電解精製槽から熔融塩および液体Cdが漏えい。塩中には250kgのHMと250kgのFPが存在。
    - ・漏えい量のうち1/1000がミストとなり気相へ移行。
    - ・VOG系HEPAフィルタは容量が小さいので期待しない。
    - ・セル排気系の3段のHEPAフィルタのうち1段が機能喪失。
- 【評価結果】  $1.55 \times 10^{-2} \text{mSv}$
- ・Arセルバウンダリ破損による空気侵入および金属火災
    - ・Arセル冷却系配管が破損し、空気がセル内に侵入。
    - ・陰極処理装置から温度が高いままのU-Puインゴットを1バッチ分誤って取り出し、火災発生。
    - ・1/100が煤煙して気相へ移行。
    - ・VOG系3段のHEPAフィルタのうち1段が機能喪失。
    - ・セル排気系の3段のHEPAフィルタのうち1段が機能喪失
- 【評価結果】  $7.28 \times 10^{-2} \text{mSv}$



上記のいずれの評価も判断基準である  
5mSv以下を満足した。

### 多重防護の重層的機能喪失についてのリスクを評価

この評価では、設計された多重防護の複数のバリアが同時に機能喪失し、過度の放射性物質の放出が生じる事象の発生頻度と影響を評価。

- ・電解精製槽からセル内への内容物の漏えい  
電解精製槽から熔融塩および液体Cdが漏えい。  
《発生頻度》  $3.7 \times 10^{-12}/\text{年}$  《放出放射エネルギー》  $2.0 \times 10^{14} \text{Bq}$
- ・Arセルバウンダリ破損と連続式陰極処理装置Ar循環系配管の同時破損によるPu金属の火災  
連続式陰極処理装置のAr循環配管も同時破損して、装置内の全てのU-Puインゴットが火災を生じる  
《発生頻度》  $6.2 \times 10^{-17}/\text{年}$  《放出放射エネルギー》  $7.8 \times 10^{13} \text{Bq}$
- ・射出鑄造工程での臨界  
U-Pu合金の過剰装荷による臨界。  
《発生頻度》  $1.5 \times 10^{-6}/\text{年}$  《放出放射エネルギー》  $4.2 \times 10^{15} \text{Bq}$

上記の放出放射エネルギーで被ばく計算を実施した結果、  
周辺公衆のうける被ばく線量は十分低く  
急性死亡にいたるほどの量ではなかった。



発生頻度が $10^{-6}/\text{年}$ 以上の事象で  
大規模放出を伴うものはない。



# 酸化物電解法システムの安全性評価(1/2)

## [酸化物電解法システムの特徴]

### システムの特徴

#### ★プロセスに起因する特徴

##### ー非減速系

- ・酸化物であるため臨界質量は比較的大きい(数十kgオーダー)
- ・固体を扱うため形状管理は不適。⇒ 基本的に**質量管理(バッチ処理)**

##### ー酸化物粉体の使用

- ・飛散や堆積が起きやすい ⇒ **ITVカメラ等による目視が可能**
- ・エアロゾル(ダスト)の発生源

##### ー塩素ガスの使用

- ・長期的な材料健全性に対する懸念 ⇒ **塩素濃度の検知、深冷分離装置による回収、スクラバによる除去**

##### ー高温プロセス

- ・材料や構造材への影響 ⇒ 電解装置は、るつぼと鋼製容器の**二重容器**(間に鉛を充填)
- ・排熱/除熱対策 ⇒ 空気セルなので冷却された給気によるワンスルー換気に対応

#### ★プラントコンセプトに起因する特徴

##### ーセル内設置の免震装置

- ・複数の電解装置を一基の免震装置上に配置
- ・免震装置はセル内に設置 ⇒ 遠隔での点検・保守が可能な設計

##### ー機械的な物質移送(バッチ処理)

- ⇒ 意図しない物質移動や、短期間に多量の物質移動が起こりえない。
- ・一次系を気密にすることが難しい。⇒ 負圧による動的閉じ込め

##### ー主工程セルに遠隔保守を採用 & 自動化操業

- ⇒ 目視(ITVカメラ等)による**セル内の点検および遠隔による保全が可能。**
- ⇒ **自動化**により操作ミスの頻度を低減。



## 酸化物電解法システムの安全性評価(2/2)

### 多重防護の適切な実装を確認

#### 【選定された代表事象】

- ・電解装置つぼ移送時の落下による固化塩の飛散
  - ・MA回収セルへ移送途中の電解装置つぼを誤って落下。移送時には塩中に6.5kgのHMと17kgのFPが存在。
  - ・内蔵する固化塩のうち1/1000がダストとなり気相へ移行。
  - ・セル排気系の2段のHEPAフィルタのうち1段は機能喪失。

【評価結果】  $6.0 \times 10^{-3} \text{mSv}$

- ・TRUを抽出した液体Cdの漏えい
  - ・Cd抽出工程においてTRUを抽出した液体Cdを貯留する貯槽の移送配管から液体Cdがセル内へ漏えい。
  - ・異常に気付いて送液を停止するまで10分と仮定。
  - ・漏えい時の飛沫により1/1000がヒュームとともに気相へ移行。
  - ・セル排気系の2段のHEPAフィルタのうち1段は機能喪失。

【評価結果】  $2.0 \times 10^{-3} \text{mSv}$

上記のいずれの評価も判断基準である  
5mSv以下を満足した。

### 多重防護の重層的機能喪失についてのリスクを評価

この評価では、設計された多重防護の複数のバリアが同時に機能喪失し、過度の放射性物質の放出が生じる事象の発生頻度と影響を評価。

- ・電解装置つぼ内容物未固化状態での移送および落下  
塩が固化されていない状態で誤って移送をおこない、かつ落下させる。  
《発生頻度》  $6.8 \times 10^{-9}/\text{年}$  《放出放射エネルギー》  $1.5 \times 10^{13} \text{Bq}$

- ・TRUを装荷した液体Cdの全量漏えい  
Cd貯槽送液配管の破損により漏えい事象が発生した際に、送液停止に失敗し貯槽内の全量が漏えいする。  
《発生頻度》  $1.9 \times 10^{-10}/\text{年}$  《放出放射エネルギー》  $1.0 \times 10^{13} \text{Bq}$

上記の放出放射エネルギーで被ばく計算を実施した結果、  
周辺公衆のうける被ばく線量は十分低く  
急性死亡にいたるほどの量ではなかった。

発生頻度が $10^{-6}/\text{年}$ 以上の事象で  
大規模放出を伴うものはない。



## 2. 経済性の評価



# 燃料サイクルシステムの経済性評価

## 設計要求

再処理・燃料製造費 0.8円/kWh以下



施設の概念設計を実施し、建設費と運転費を評価し、処理量に相当する発電量から再処理・燃料製造費を算出し、設計要求と比較

処分費などを含む燃料サイクル費としては1.1円/kWh以下

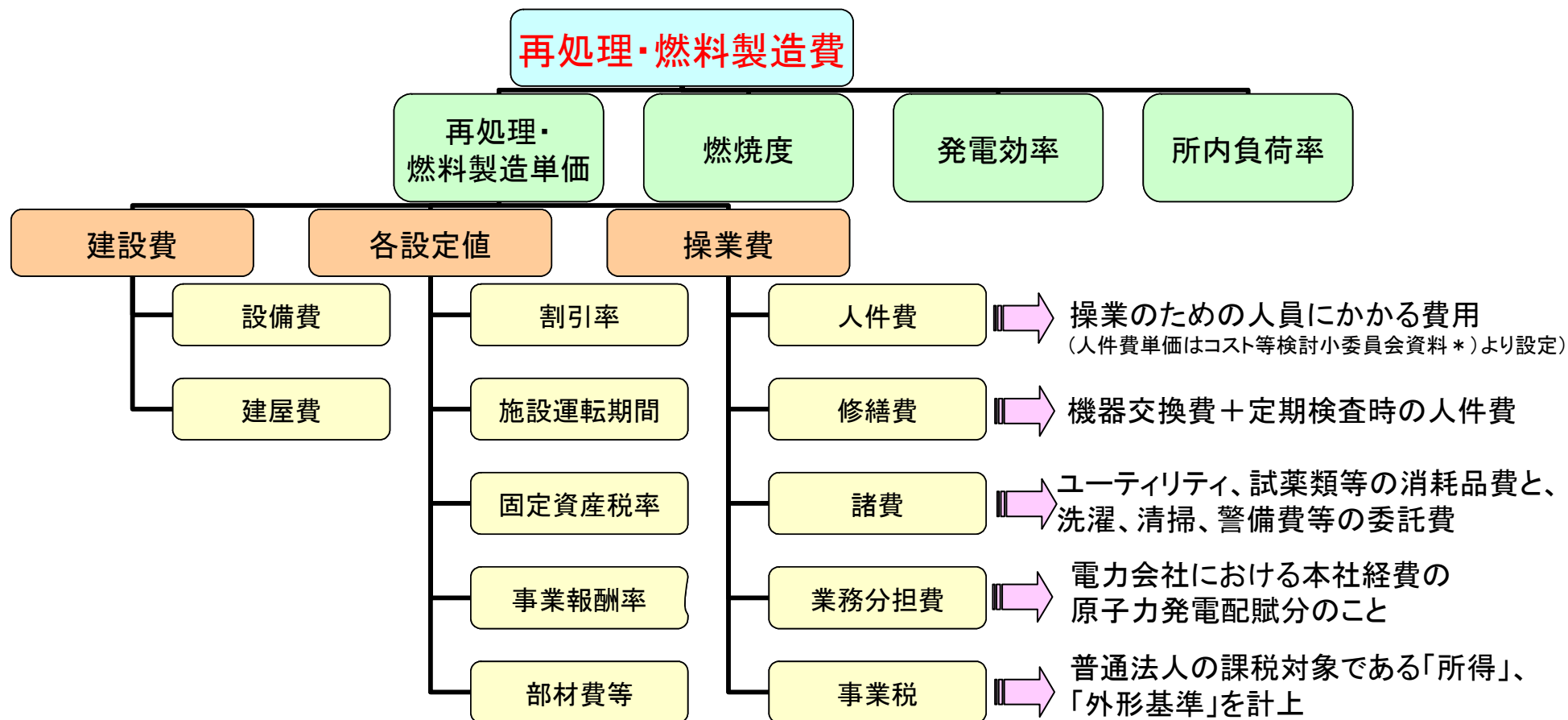


再処理・燃料製造費に燃料輸送費、廃棄物の貯蔵、輸送、処分費を加算して燃料サイクル費を算出し、設計要求と比較



# 再処理・燃料製造費の構成

## 再処理・燃料製造費の構成



\*) H16年度総合資源エネルギー調査会電気事業分科会コスト等検討小委員会資料



## 施設概念検討の設計条件(一部)

### 取扱い燃料の平均燃焼度と処理規模

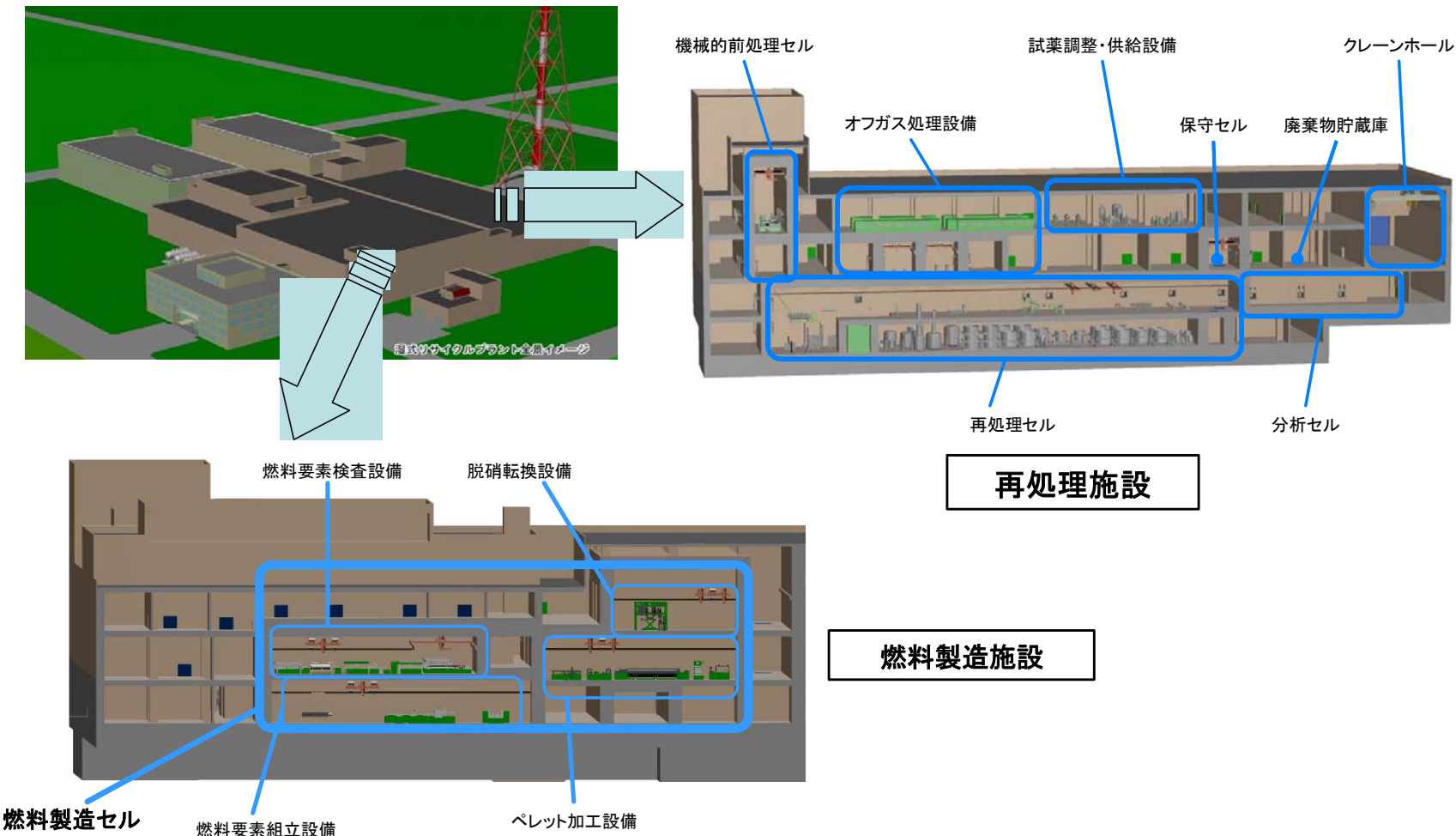
システム (炉はNa大型炉)	燃料形態	燃焼度(GWd/t)		処理規模 (tHM/y)
		資源重視型 炉心	経済性重視型 炉心	
先進湿式法+ 簡素化ペレット法	酸化物	90	114.9	50,200
先進湿式法+ 振動充填法		82.6	103.5	50
酸化物電解法+ 振動充填法		80.9	102.4	50
金属燃料金属電解法+ 射出鑄造法	金属	134	153	50,200





# 先進湿式法＋簡素化ペレット法による施設の例

## 再処理・燃料製造一体化施設の概念(200tHM/y)



機器概念、必要台数等を検討し、保守・補修を考慮し、セル内に配置し、必要な付帯設備(計装制御、分析、ユーティリティ等)も含めて再処理・燃料製造一体化施設の概念設計を実施して経済性を評価した。



## 建設費の算出方法

・建設費 = (設備費 + 建屋費) × 1.1

設備費: 各施設内に内装される機器にかかる費用

建屋費: 建屋に付随する換気設備・電気設備・建屋躯体及びライニングにかかる費用

1.1: 設備費と建屋費の合計の10%を所有者費用\*)としている

### 設備費

各設備について、以下の費目を計上し、積上げることによって設備費としている。

#### 設備費

機器  
制作費

設計費

試験  
検査費

輸送  
据付費

プロジェクト  
管理費

一般  
管理費

### 建屋費

建屋体積(m<sup>3</sup>)

×

体積単価: 13万円/m<sup>3</sup>  
(既存施設を参考にした値)

\*)所有者費用: プラント発注者側が負担する税金、保険、運転員訓練費、プラント建設に関わる手続き費用および管理費用



## 再処理・燃料製造費算出のための設定値

・再処理・燃料製造費：サイクルについて、1kWh炉で発電するのにかかる費用。

評価条件の項目			設定		備 考	
			再処理	燃料製造		
割引率			2%		JAEA評価	
資本費	建設費	建中利率	2%		割引率と同様に設定	
		建中利子計上法	期末払い			
	運転期間(コストを均等化する期間)		40年		MITI99評価 <sup>1)</sup> 同様	
	償却期間	建屋、建物、構築物	38年		財務省「原価償却資産の耐用年数等に関する省令」における類似設備より推定	
		設備、機器、ユーティリティ	11年			
	償却方法		定額法		法人税法施行令第61条	
	残存価額割合		10%		一般的な設定	
	固定資産税	固定資産税率	1.4%		法定値	
	廃止措置費	積立方法		減債基金法		定額積立
		積立期間		40年		運転期間と同様
積立利率		2%		割引率と同様に設定		
事業報酬	事業報酬率	2%		JAEA評価		
操業費	人件費	人件費単価	1039.5 万円/人年	1112.5 万円/人年	コスト等検討小委員会資料より	
	業務分担費	業務分担費率（×直接費）	15%/年		コスト等検討小委員会資料より	
	事業税	税率（×全経費）	外形基準割額		税法による	
部材費	部材費(燃料製造に含める)		5万円/kgHM		JAEA実績を基に評価	

・処分費等：システム設計情報からの物量データと、貯蔵、輸送、処分の各単価<sup>2)</sup>より評価。

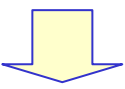
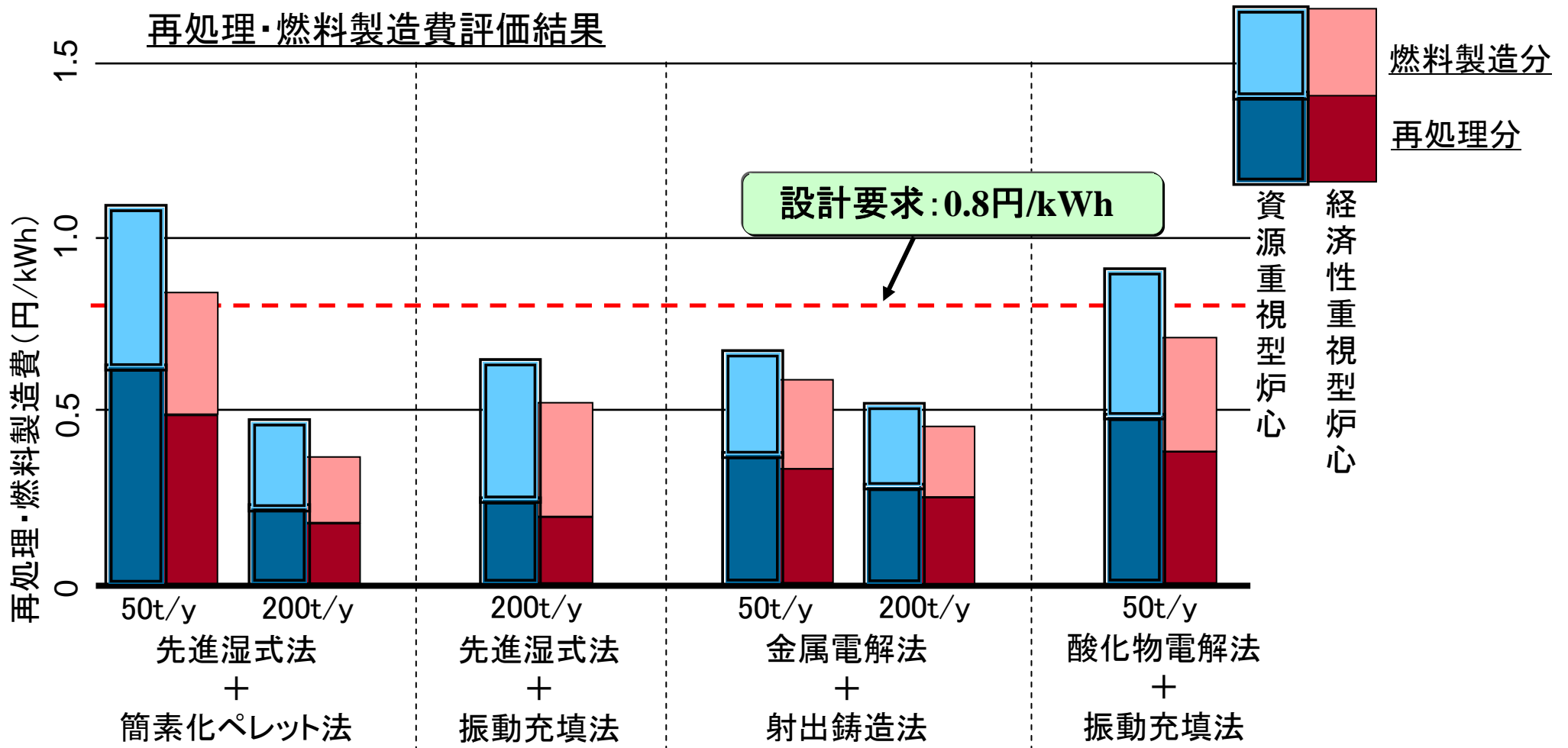
1) 通産省総合エネルギー調査会原子力部会、第70回、資料3(1999.12)

2) コスト等検討小委員会資料より設定

# システム毎の再処理・燃料製造費の比較

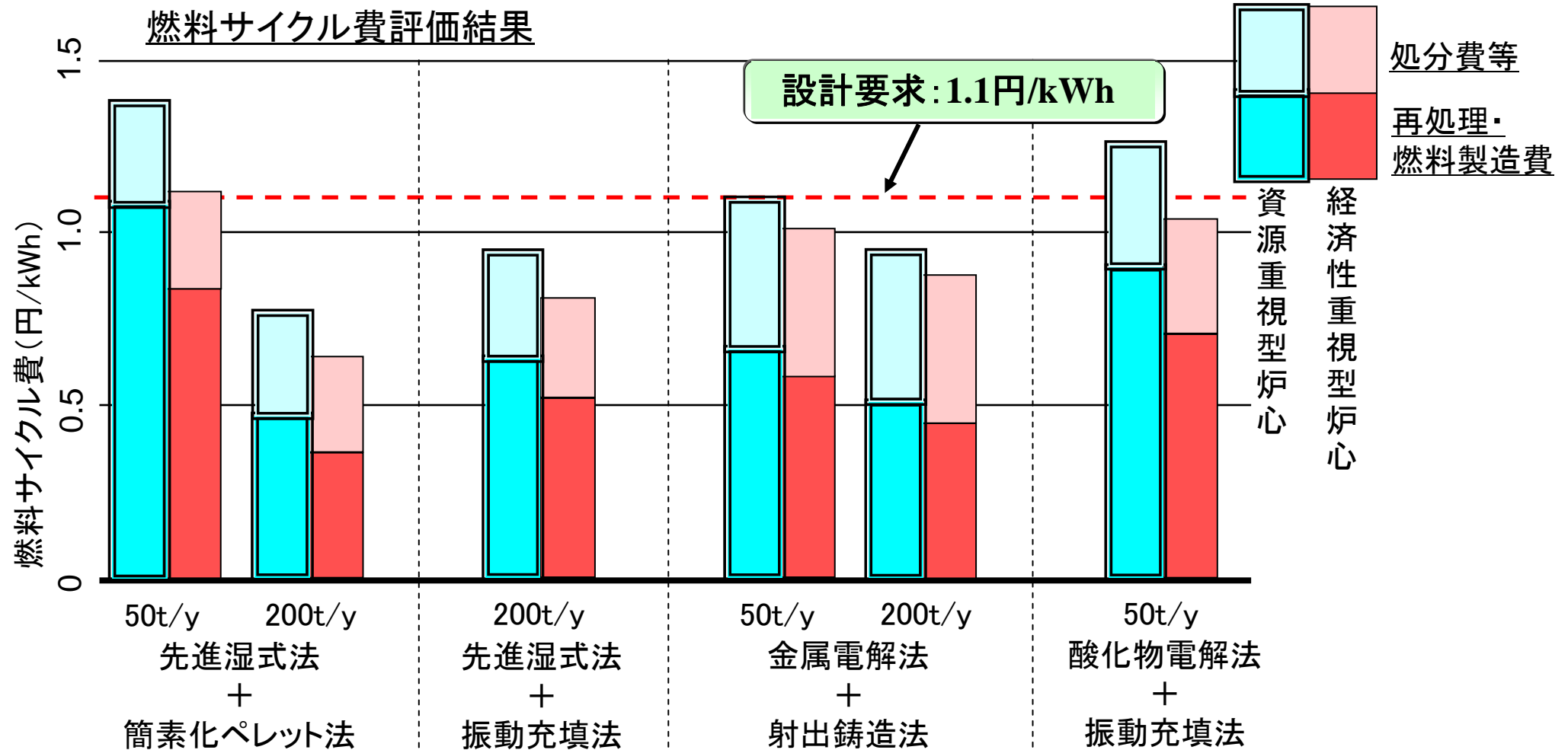


再処理・燃料製造費評価結果



先進湿式法+簡素化ペレット法(50t/y)、資源重視型炉心対象の酸化物電解法+振動充填法(50t/y)以外は設計要求(0.8円/kWh)を満足した。

# システム毎の燃料サイクル費の比較



先進湿式法+簡素化ペレット法(50t/y)、資源重視型炉心対象の酸化物電解法+振動充填法(50t/y)以外は設計要求(1.1円/kWh)を満足した。



### 3. 環境負荷低減性の評価



# 燃料サイクルシステムの環境負荷低減性評価

## 設計要求

発電量あたりの放射性廃棄物の発生量が軽水炉燃料サイクル施設と同等以下(1/10に削減することを目指す)

U及びTRUの廃棄物への移行率 0.1 % 以下(目標)

長寿命核種の分離核変換技術の採用などにより処分負荷低減の可能性を追求

## 評価・判断の基準

高レベル廃棄物(ガラス固化体)及び低レベル廃棄物(TRU、高 $\beta$   $\gamma$ など)の発生量を試算し、軽水炉燃料サイクルと比較する。

物質収支などから廃棄物への移行率を見積もり、0.1 %と比較する。

先進湿式法について、Cs、Sr、I及びTcの回収を検討



## 放射性廃棄物の分類

### フェーズ II における放射性廃棄物の区分

区分		処分方式
高レベル廃棄物		地層処分
TRU 廃棄物	$\alpha$ 核種の放射能濃度が比較的高い廃棄物 ( $\alpha$ 放射能 $1.11 \times 10^9 \sim 10^{12}$ Bq/t、 $\beta \gamma$ 放射能 $1.11 \times 10^{15}$ Bq/t 未満を目安とする)	地層処分相当
高 $\beta \gamma$ 廃棄物	全 $\alpha$ 核種濃度が現行政令上限値未満で $\beta \gamma$ 放射能濃度が比較的高い廃棄物 ( $\alpha$ 放射能 $1.11 \times 10^9$ Bq/t 未満、 $\beta \gamma$ 放射能 $1.11 \times 10^{13} \sim 10^{15}$ Bq/t 未満を目安)	余裕深度処分相当
低レベル廃棄物	現行政令上限値未満の放射性廃棄物 ( $\alpha$ 放射能 $1.11 \times 10^9$ Bq/t 未満、 $\beta \gamma$ 放射能 $1.11 \times 10^{13}$ Bq/t 未満を目安)	浅地中処分相当
極低レベル廃棄物	低レベル廃棄物のうち放射能濃度が低いもの (政令第 324 号 13 条の 9 の表三、表四に掲げる濃度以下に該当するもの)	
クリアランスレベル以下の廃棄物	放射性廃棄物のうち、線量が自然界の放射線レベルと比較して十分小さく、放射性物質として扱う必要がないもの ( $10^6$ Bq/t 未満を目安)	—



# 先進湿式法から発生する廃棄物発生量

- ホウケイ酸ガラス固化体量は使用済み燃料組成に応じて計算
  - ガラス固化体の組成は下記を使用
  - 発熱密度限度は 2.3 kW/本(六ヶ所と同様)とした

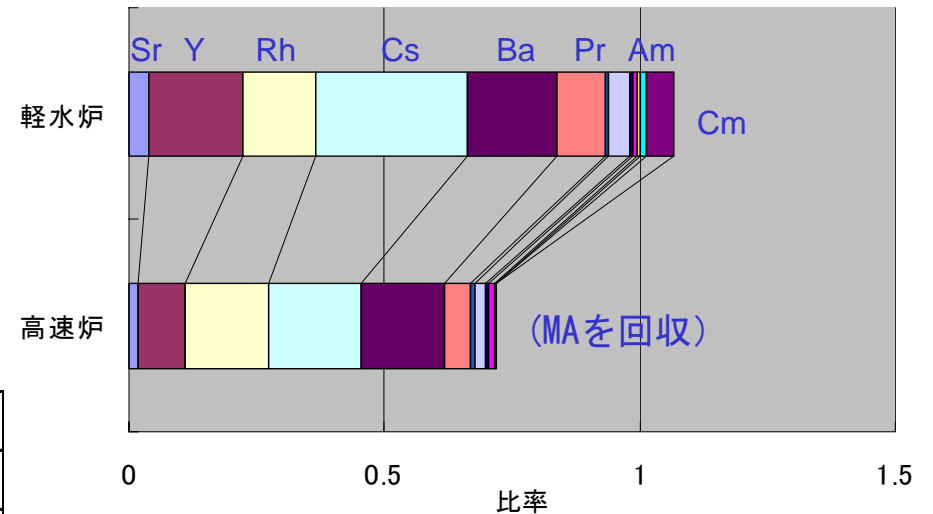
## 検討に用いたガラス固化体の組成

成分	TVF での仕様 * (wt%)	本検討での 仕様 (wt%)
Na <sub>2</sub> O	10	10
FP 酸化物	10	12
全廃棄物酸化物	25	30

\* 高レベル放射性廃液ガラス固化プラントの現状, 動燃技報, No. 56, 51-65(1985)

## 先進湿式法による廃棄物の発生見積もり

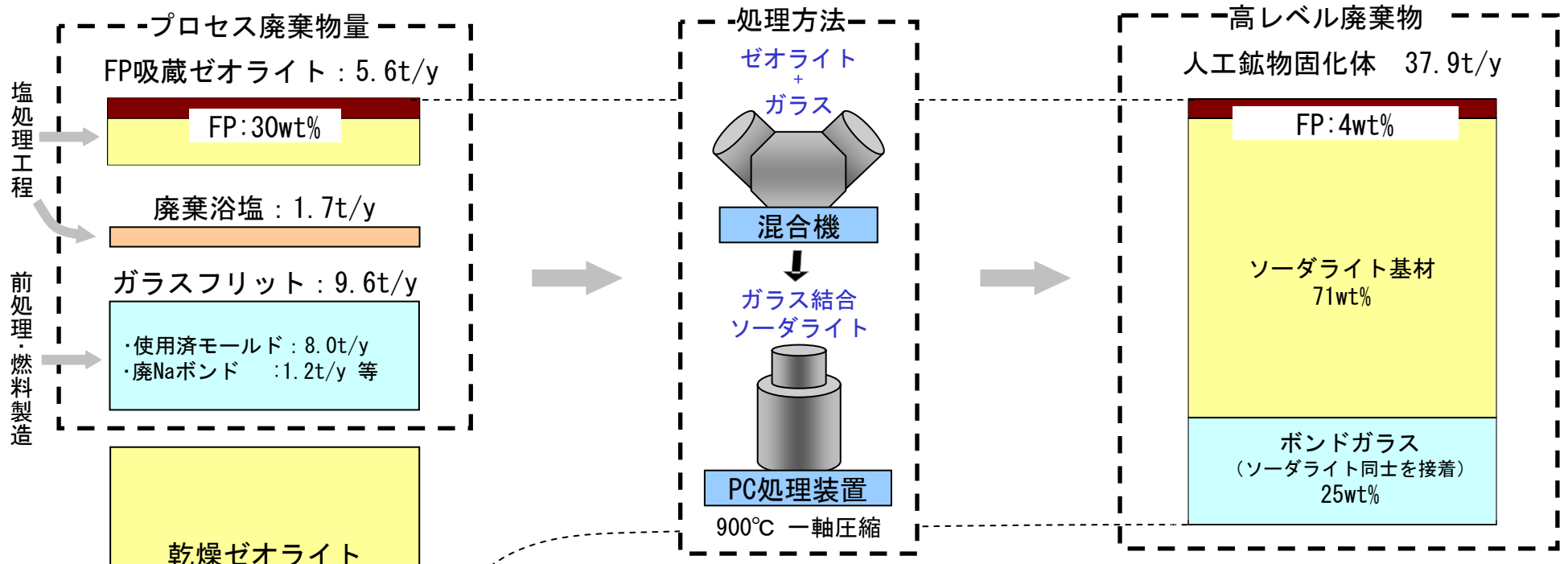
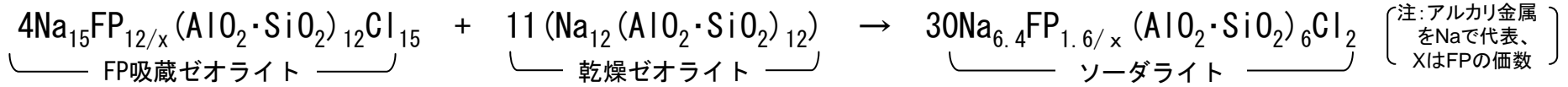
区分	廃棄体	含まれる廃棄物	年間発生量 (m <sup>3</sup> )	年間発生数 (本)	発熱量 (kW/本)
高レベル	ホウケイ酸 ガラス固化体	核分裂生成物 腐食生成物	52	344	2.3
TRU	TRU 廃棄体	集合体構造材	51	253	---
		低レベル濃縮廃液 I	0	0	---
		焼却灰溶融体 (可燃性廃棄物 I, 難燃性廃棄物 I, 廃活性炭等)	7	34	---
		廃銀吸着材	10	50	---
		不燃廃棄物 I (金属)	30	149	---
		不燃廃棄物 I (その他)	30	149	---
		小計		127	634
高βγ	高βγ廃棄体	集合体構造材	138	690	---
		廃溶媒	0.4	2	---
		低レベル濃縮廃液 II	0	0	---
		可燃廃棄物 II	13	65	---
		難燃性廃棄物 II	2	9	---
		小計		153	766
低レベル	低レベル廃棄体	不燃廃棄物 II (金属)	59	297	---
		不燃廃棄物 II (その他)	59	297	---
		小計	119	594	---



使用済み燃料の発熱量 (FBRとLWRの比較)

# 金属電解法から発生する廃棄物発生量

## ・ソーダライト固化 (Pressureless Consolidation処理)



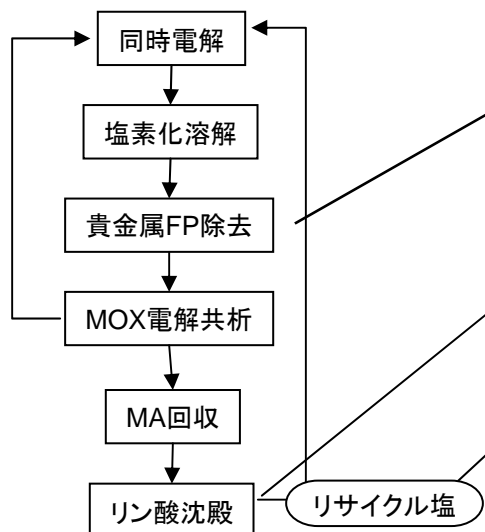
廃棄物発生量の評価内容 (金属燃料金属電解法 38t/yプラント)

区分	廃棄体	含有廃棄物	年間発生量		年間発生数(本)	容量(L/本)	発熱量(kW/本)
			m <sup>3</sup>	ton			
高レベル	人工鉍物固化体	FP吸蔵ゼオライト等	19.0	37.9	127	150	0.53
TRU	TRU廃棄体	ハル等	6.8	46.6	34	200	-
高βγ	高βγ廃棄体	集合体部材	21.4	55.5	107	200	-

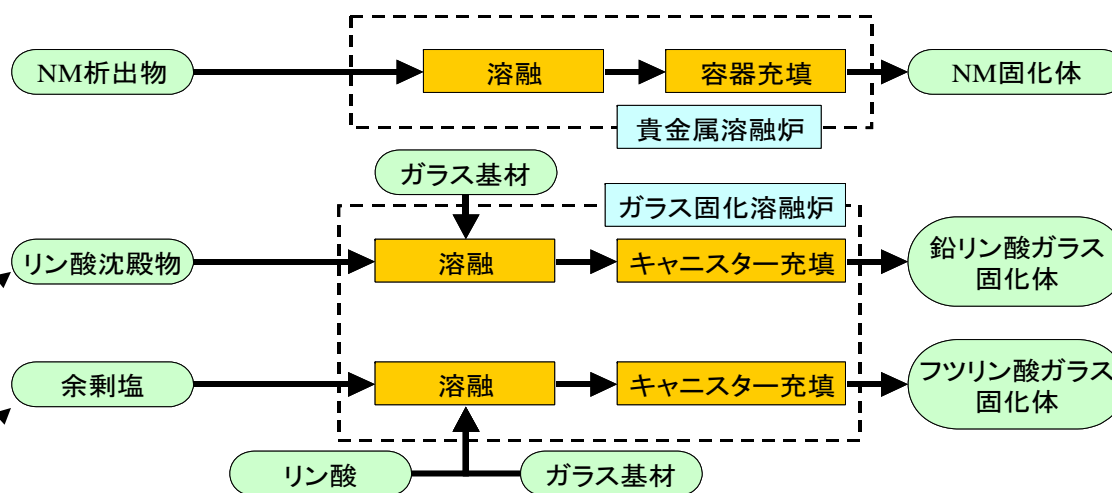


# 酸化物電解法から発生する廃棄物発生量

## 再処理工程のフロー



## 廃棄物処理のフロー



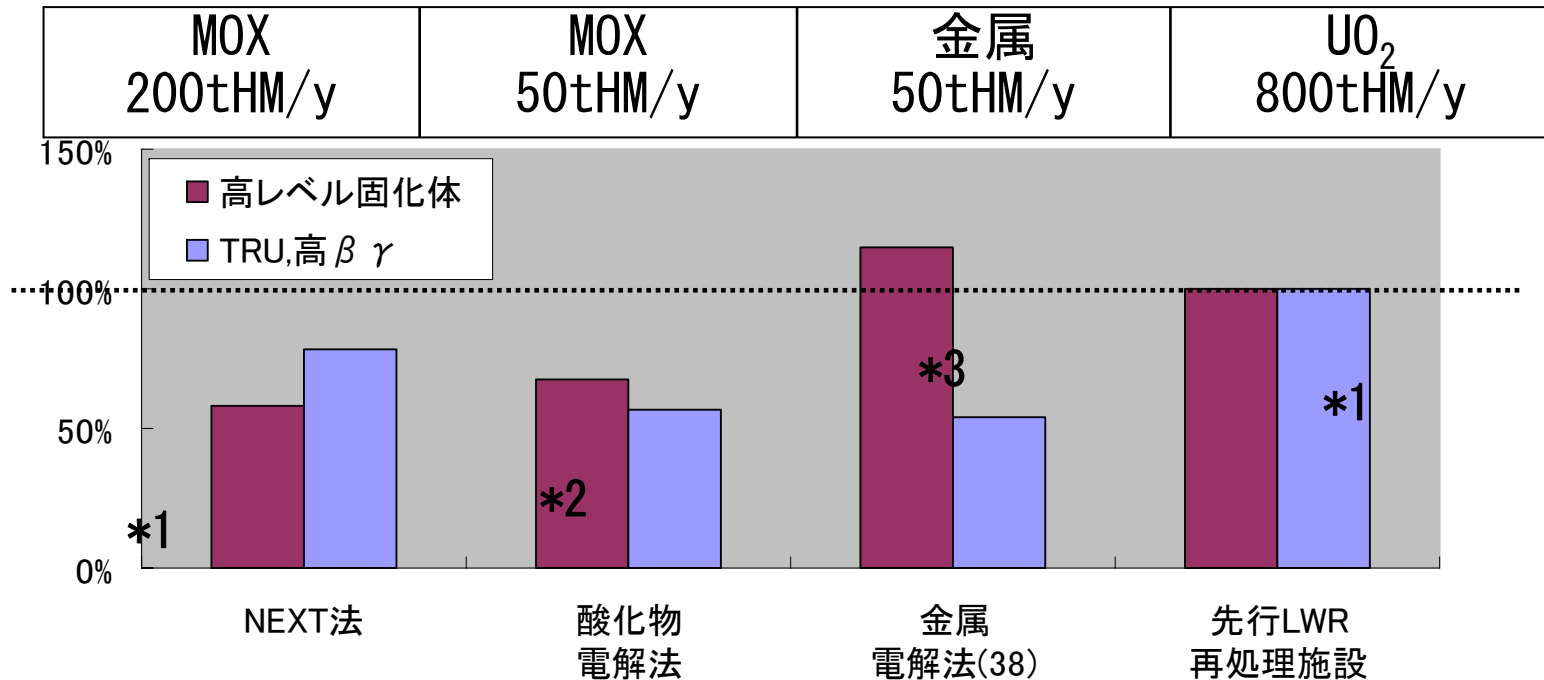
## 廃棄物発生量の評価内容(資源重視型炉心)

区分	廃棄体	含まれる廃棄物	年間発生量		年間発生数 (本)	容量 (L/本)	発熱量 (kW/本)
			(m <sup>3</sup> )	(ton)			
高レベル	鉛リン酸 ガラス固化体	リン酸沈殿物	5.55	19.43	37.0	150	1.78*
	フツリン酸 ガラス固化体	余剰塩	7.35	20.58	49.0	150	1.80*
	NM合金 廃棄体	NM分離 電解析出物	2.55	1.00	17.0	150	2.26
TRU	TRU 廃棄体	ハル	8.94	31.29	44.7	200 (700kg/本)	---
高βγ	高βγ廃棄体	集合体部材	20.79	72.77	104.0	200 (700kg/本)	---

\* リン酸ガラスの再結晶温度がホウケイ酸ガラスより100℃程度低いいため、発熱量を1.8 (kW/本) 以下に制限した。

# 単位発電量当たりの廃棄物発生量の比較

(資源重視型炉心)



- 単位発電量当たりの発生量 = 年間発生量 / (年間処理量 × 平均燃焼度 × 発電効率)
- 高レベル固化体: \*1:ホウケイ酸ガラス、\*2:リン酸ガラス+合金、\*3:人工鉱物(ソーダライト結合ガラス)
- TRU、高βγ廃棄物は燃料集合体構造部材を含む。

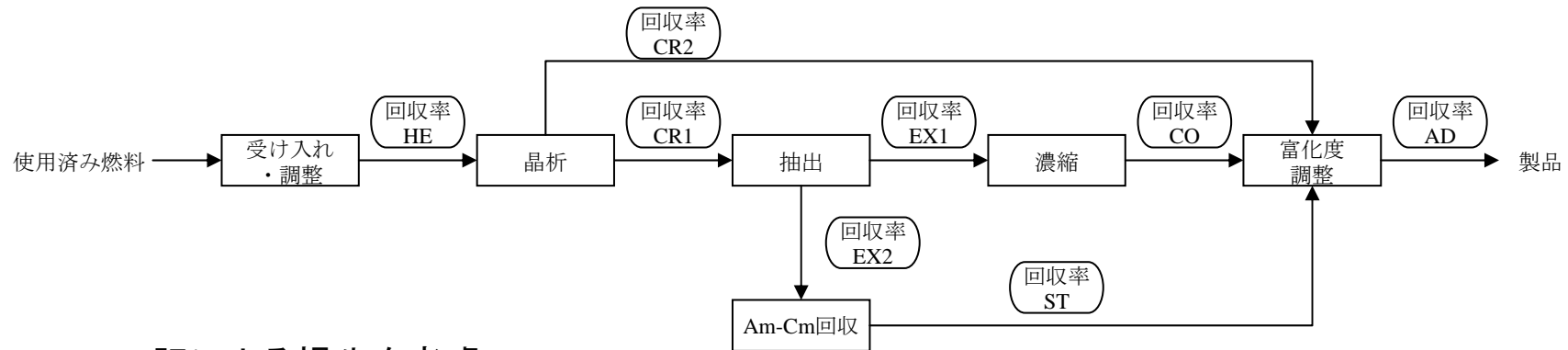
金属電解法における高レベル廃棄物を除き、先行LWR再処理施設からの発生量を下回る

- ・先行LWR施設の高レベル固化体発生量は、六ヶ所再処理施設事業指定申請書添付書類七に拠る。
- ・TRU、高βγ廃棄物の発生量は、総合資源エネルギー調査会 電気事業分科会 コスト等検討小委員会(H15.12)資料を基に想定



# 先進湿式法におけるU・TRUの廃棄物への移行率の推算

- 物質収支から移行する割合を算出



## 下記による損失を考慮

- A) 不溶解残さ(スラッジ)への損失
- B) オフガス系フィルタへの損失
- C) 槽類換気、送液に伴うオフガス系(液移送機器等)への損失
  - 移送機器等へ供給する空気に同伴する水分量をリサイクル機器試験施設 (RETF) における設計と同等であると想定して求めた。分析試料の採取(サンプリング)への損失
  - 試料量を10 cm<sup>3</sup>とし、検討した採取の頻度から求めた。
- D) その他設備に特有な損失
  - せん断工程においてセル内飛散や機器への付着を想定した。

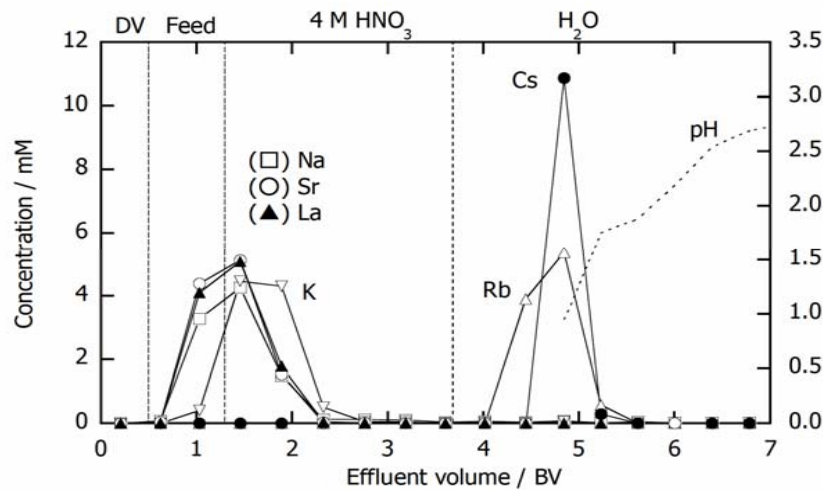
先進湿式法による U と TRU の廃棄物への移行率はそれぞれ約 0.15%、0.2% と見積もられた。

目標値は達成できなかったが、せん断工程での回収や分析廃液等からの回収を図ることにより、移行率の低減が期待できる。



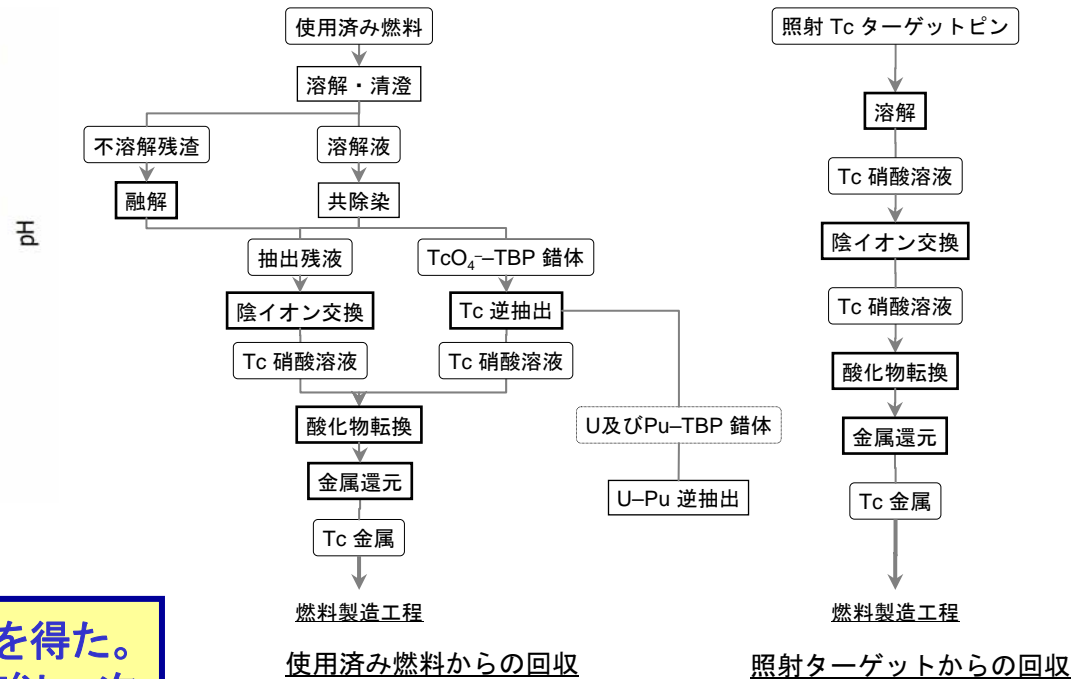
# 先進湿式法における長寿命核種分離回収の可能性

- ・ 湿式法による Cs、Sr、I 及び Tc の回収を検討
  - Cs と Sr の抽出クロマトグラフィーによる分離実験を実施
    - ・ 模擬溶液を用いた小規模試験により分離の可能性を確認
  - 設計研究でプラントの概念を検討
    - ・ Cs、Sr を溶媒抽出分離、I をオフガス吸着材から回収、Tc を高レベル廃液などから回収
  - Cs と Sr の分離回収と減衰処理による効果を試算



抽出クロマトグラフィーによる Cs の分離の実験例

FP の回収に関する実験データや検討評価結果を得た。これらは、技術として成立することの可能性を示唆し、次のフェーズの計画検討に資するものである。



設計検討に用いた Tc 分離プロセス





## 4. 資源有効利用性の評価



# 燃料サイクルシステムの資源有効利用性の評価

設計要求

U及びTRU回収率99%以上

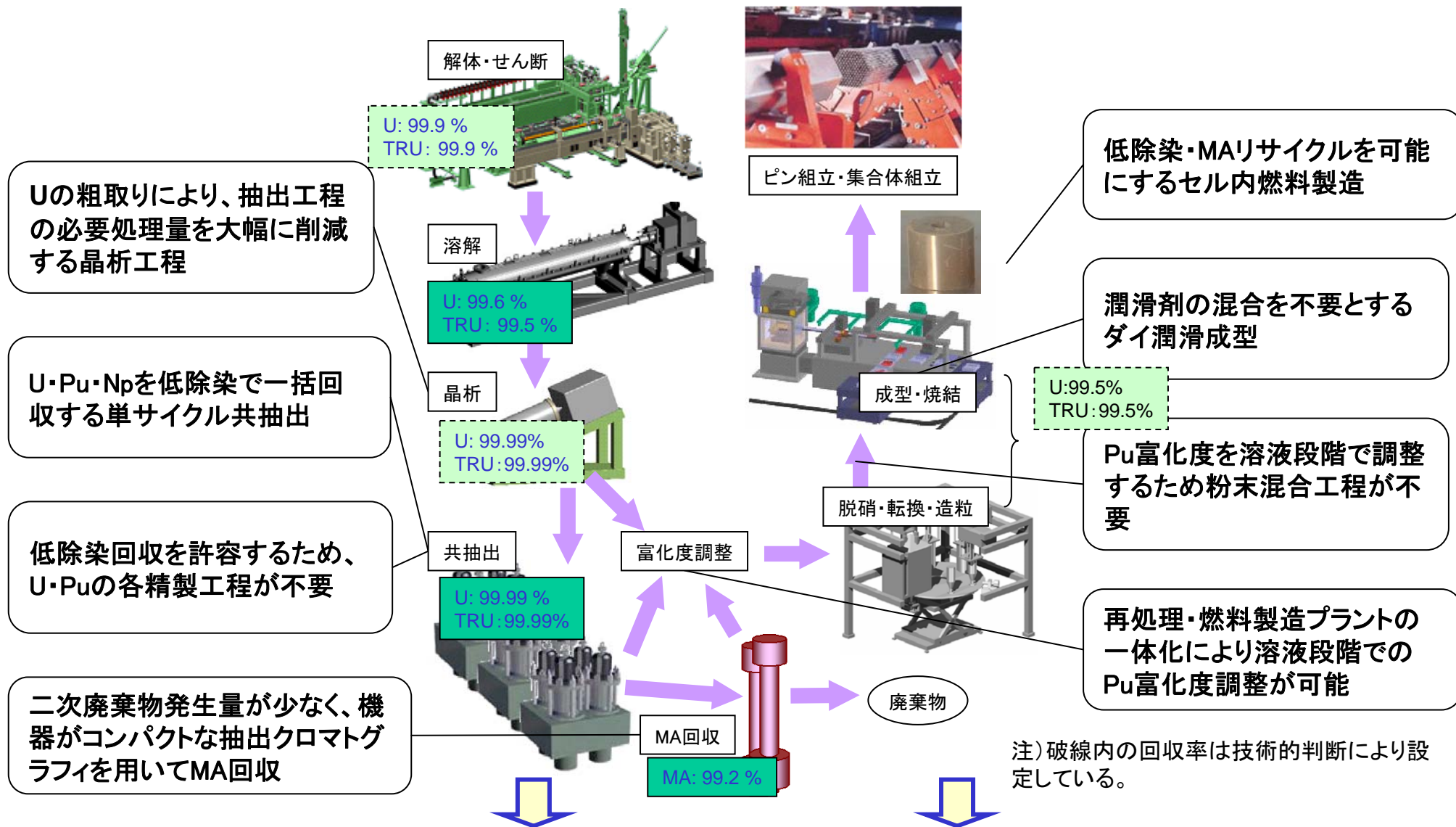


評価・判断の基準

- ・各工程での移行率を設定し、プロセス全体の物質収支を評価する
- ・回収製品へのU、TRU各々の回収率を評価し、左記目標と比較



# 先進湿式法＋簡素化ペレット法における回収率の評価



燃料サイクルとしての回収率は、U, TRUで各々99%を満足  
 (再処理側: U=99.8%, TRU=99.8% 燃料製造側: U=99.5%, TRU=99.5%)

注) 破線内の回収率は技術的判断により設定している。



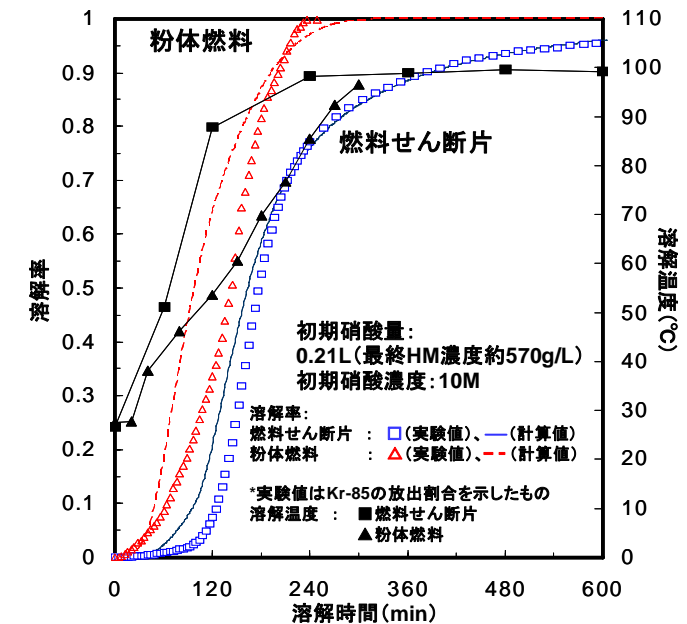
# 先進湿式法: 燃料溶解工程における回収率設定根拠

- UとPuの不溶解残さへの移行(ロス)
  - － 常陽照射燃料の溶解試験データ
    - 95°Cで4 h 溶解した場合  
U < 0.07 %、Pu = 0.03 %
- 高効率溶解プロセス
  - － 晶析法に適合する高金属濃度の溶解液を得るため、高金属濃度溶解液を得る方法を検討
    - 溶解を効率的に行う必要があり、燃料の粉化を利用した手法を実験的に検討
  - － 粉化燃料の場合、せん断片と比較して短時間に溶解反応が終了する結果を確認。
  - － 溶解温度を適切に管理することにより溶解速度を制御(粉化燃料と硝酸との急激な反応を防止)できる。
  - － 溶解挙動は溶解シミュレーション結果に概ね従うことを確認。

UとPuの不溶解残さへの移行率\*

番号	燃料	燃焼度 (GWd/t)	硝酸濃度 (M)	溶解温度 (°C)	溶解時間 (h)	不溶解残さへの移行率 (wt%)	
						U	Pu
1	常陽 Mk-II 特殊	54.1	8.7 → 8.0	沸騰温度	4	< 0.07	0.03
2	同上	同上	3.5 → 3.5	沸騰温度	8.5	< 0.07	0.09
3	同上	同上	3.5 → 8.5	沸騰温度	4	< 0.07	0.02
4	同上	同上	3.5 → 8.5	95	4	< 0.07	0.03
5	常陽 Mk-I	40.1	3.6 → 2.9	101	10	< 0.008	0.01
6	同上	同上	3.4 → 2.0	90	10	< 0.008	0.04
7	同上	同上	3.1 → 1.6	80	10	< 0.008	0.06

\* 主要核分裂生成物及びアクチノイド核種の溶解挙動, PNC TN8410 92-212



照射済高速炉燃料を用いた溶解試験結果 (燃料: Mk-II 炉心 (約64GWd/t)、Pu富化度 30%)



# 先進湿式法:簡素化溶媒抽出工程における回収率設定根拠

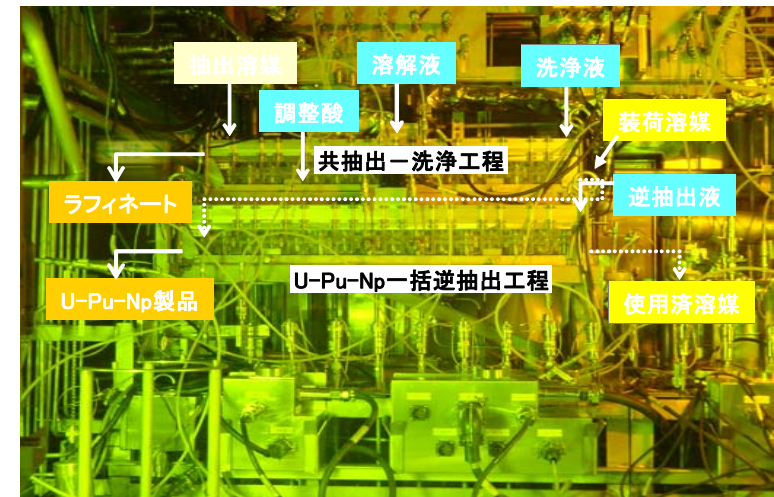
- Pu分配型フローシート試験におけるデータ
  - 常陽燃料の溶解液を用いた向流多段抽出試験を実施
  - 小型ミキサセトラを使用
  - 共除染部で高放射性廃液への移行率を0.01%以下にすることは可能
  - 使用済み溶媒への移行率を0.1%以下とすることが可能

- 簡素化溶媒抽出プロセス
  - 小型遠心抽出器を用いた試験を実施
  - 設計のフローシートを元に向流多段抽出試験を行った。
    - ラフィネート及び廃溶媒中への損失は、U, Puについては0.1%以下、Npについては2%程度。
    - FPについては $4 \times 10^4$ 程度の除染係数を確保できることを確認。
  - 原子価調整等を行わなくとも、供給液の高酸濃度化等により一定のNp共回収が可能であるとの見通しを得た。

UとPu 廃液・廃溶媒への移行率\*

番号	高放射性廃液への移行率 (%)		使用済み溶媒への移行率 (%)	
	U	Pu	U	Pu
1	0.07	< 0.004	< 0.05	< 0.001
2	0.22	0.22	< 0.07	< 0.001
3	< 0.06	0.14	0.29	< 0.0004
4	< 0.06	0.17	< 0.09	0.002
5	0.35	0.01		
6	0.49	0.02		
7	0.29	0.02		
8			< 0.06	< 0.0004
9			< 0.06	< 0.0004

\* 主要核分裂生成物及びアクチノイド核種の抽出分離挙動, PNC TN8410 92-213

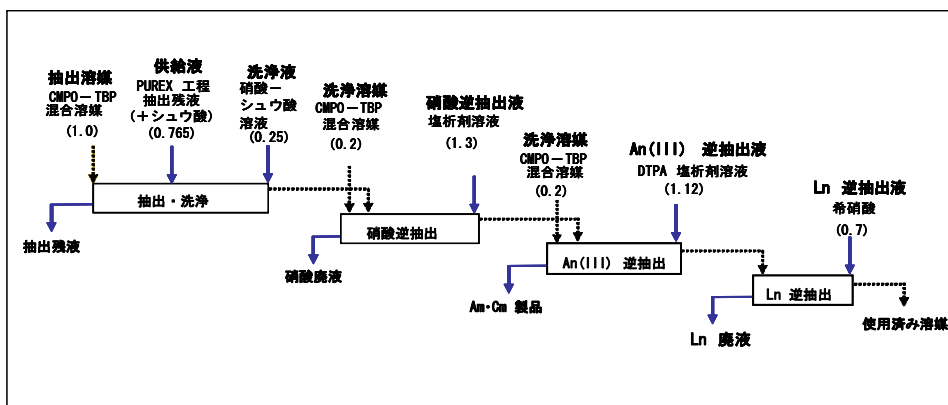


簡素化溶媒抽出ホット試験

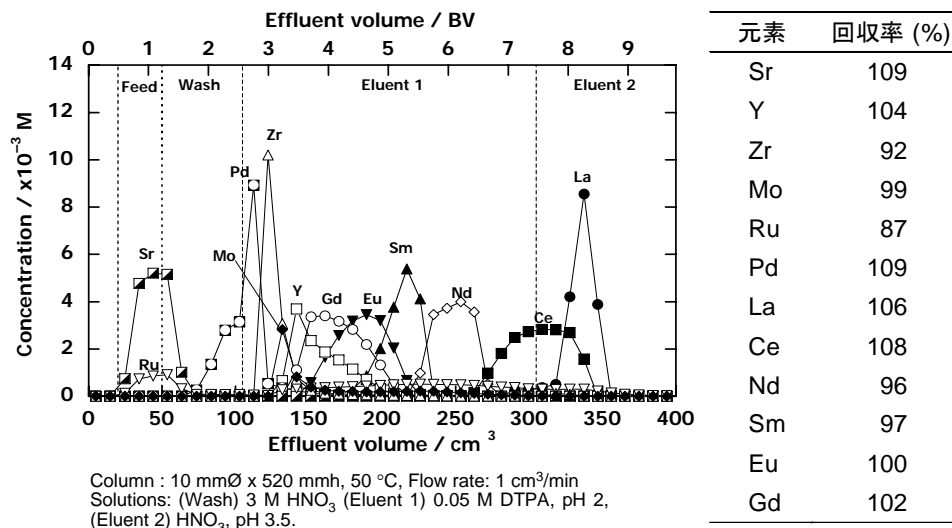


# 先進湿式法:MA回収工程における回収率設定根拠

- SETFICS法によるMA回収
  - 遠心抽出器による向流多段抽出試験の結果、Am, Cmの損失はそれぞれ0.2%, 0.4%程度に抑えられた。
- 抽出クロマト法によるMA回収
  - CMPO/SiO<sub>2</sub>-Pについて、吸着材からのCMPOの浸出を最小化する方法を考案し、この対策を取り入れたフローシートを用いた分離試験によりAm-Cm回収工程への適用に向けてその基本性能に問題がないことを確認した。
    - 回収率は分析の精度の範囲でほぼ 100 % であった。
  - TODGA/SiO<sub>2</sub>-Pを用いた分離性能評価試験より、TODGA含浸吸着材の配位能がCMPO含浸吸着材に比べて高いこと、吸着材からの金属元素の溶離に際しては負荷が増大する(溶離液量の増大や溶離剤(錯化剤)の使用等)可能性があること等を確認した。



SETFICSフローシート例



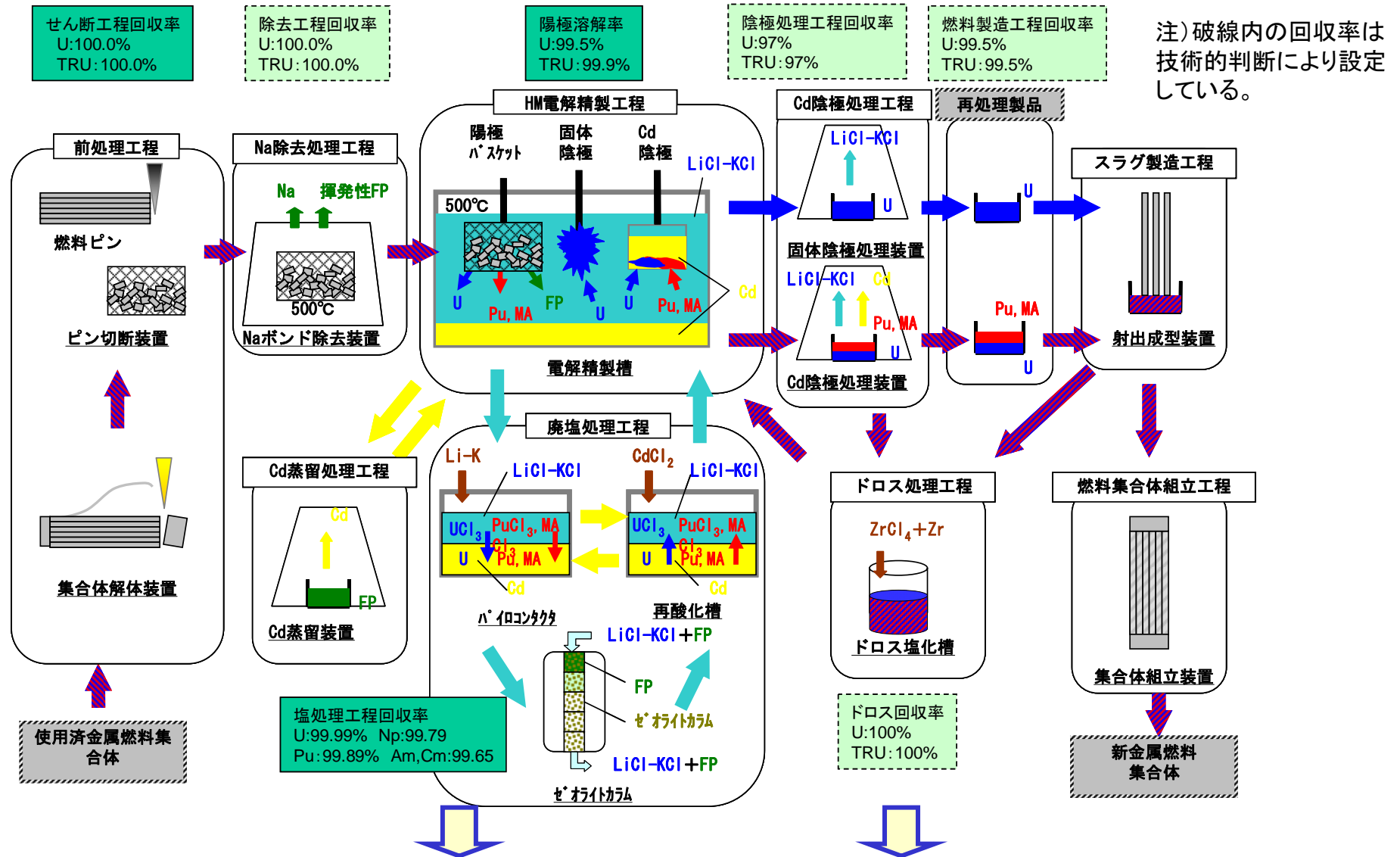
CMPO/SiO<sub>2</sub>-Pを用いた模擬高レベル廃液を対象とした分離試験

\* CMPO吸着材による抽出クロマトグラフィー試験 (3), JNC TJ8410 2004-008





# 金属電解法+射出鑄造法における回収率の評価



燃料サイクルとしての回収率は、U, TRUで各々99%を満足  
 (再処理側: U=99.5%, TRU=99.9% 燃料製造側: U=99.5%, TRU=99.5%)



# 金属電解法：せん断・陽極溶解工程の回収率設定根拠

## ●未照射U-Zr燃料せん断試験データ<sup>1)</sup>

せん断後回収率：100%±1.6%

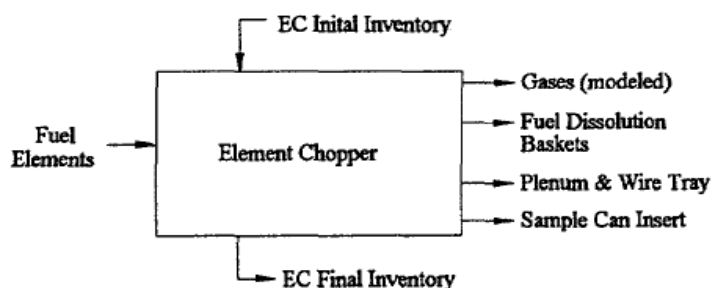


Figure 2: Element Chopper Process Streams

Table 1 - Element Chopper Closeout

Container	Total mass (kg.)	Uranium mass (kg.)
BI - EC Initial Inventory (from previous closeout)	0.0000	0.0000
TI - Input mass from ISOZ files	7.4372	4.2063
TO - FDB013 (weighed)	2.8860	1.9891
TO - FDB016 (weighed)	3.2156	2.2224
TO - PWT001 (weighed)	0.6742	0.0000
TO - PWT001 (weighed)	0.6308	0.0000
EI - EC Final Inventory (modeled)	0.0008	0.0006
ID = BI - EI + TI - TO	0.0298	-0.0058
Limit of Error	0.1560	0.0660

## ●使用済U-Zr燃料陽極溶解試験データ<sup>2)</sup>

U溶解率：下記データから99.5%以上は可能と判断  
 TRU溶解率：塩化物としてUより安定なため99.9%溶解可能と判断

Table 1. Uranium and Noble Metal Dissolution from Spent EBR-II Driver Fuel (wt%)

Batch ID	U	La	Ce	Nd	Zr	Tc	Mo	Ru
ERBF005	99.82	100.00	100.00	100.00	87.37	47.18	49.87	52.66
ERBF006	99.50	100.00	100.00	100.00	83.77	10.98	17.82	13.36
ERBF007	99.73	100.00	100.00	100.00	88.69	0.34	17.80	10.64
ERBF008	99.94	99.12	99.86	99.79	97.54	40.23	43.52	49.11
ERBF009	99.82	98.42	99.84	99.93	94.86	44.59	38.54	43.93
ERBF010	99.89	99.34	99.82	99.75	93.01	18.11	23.50	25.42
ERBF011	99.81	100.00	100.00	100.00	74.10	13.48	22.44	17.81
ERBF012	99.68	100.00	100.00	100.00	87.47	13.52	13.01	9.19
ERBF013	99.61	100.00	100.00	100.00	82.88	34.02	34.83	34.91
ERBF014	99.84	100.00	96.52	100.00	94.13	38.12	45.14	43.53
ERBF015	99.53	100.00	100.00	100.00	82.23	10.28	12.44	5.13
ERBF016	99.45	100.00	100.00	100.00	88.15	10.14	8.93	6.36
<b>Average</b>	<b>99.72</b>	<b>99.74</b>	<b>99.67</b>	<b>99.96</b>	<b>87.85</b>	<b>23.42</b>	<b>27.32</b>	<b>26.02</b>
<b>STDV</b>	<b>0.16</b>	<b>0.51</b>	<b>0.99</b>	<b>0.09</b>	<b>6.55</b>	<b>16.20</b>	<b>14.32</b>	<b>17.92</b>

参考文献：

- 1) D. Vaden et al., ANS Topical Mtg. on DOE Spent Nucl. Fuel & Fissile Mat..., No.40(1996)
- 2) Shelly X. Li et al, Global2005, Paper No.487(2005)





# 金属電解法：電解精製工程（陰極析出）の回収率の設定根拠

●電解精製工程では、陽極溶解、陰極処理、使用済塩処理の各工程でロスが生じる。

Cd陰極によりUとPuが回収できることは、下記U+Pu試験で示された。<sup>2)</sup>

固体陰極によりUとZrを回収できることが使用済燃料により実証された。<sup>1)</sup>



Figure 3. A cathode removed from Mk-IV ER, 10.1 kg

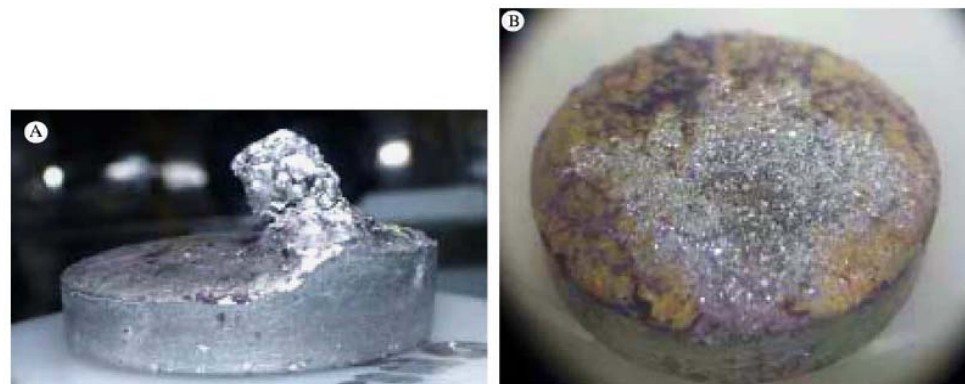


Fig. 5. Cathode ingot recovered in (A) Run 2 and (B) Run 4-1.

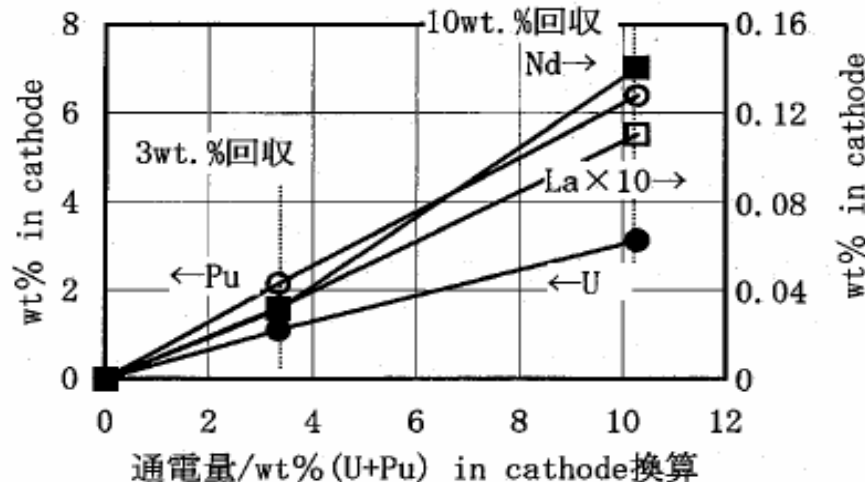


図1 通電量に対するCd陰極中の各元素の重量分率

参考文献：

- 1) Shelly X. Li et al, Global2005, Paper No.487(2005)
- 2) 加藤他 2005春の年会 N-3(2005)

FP分離係数  
(塩中のRE/Pu)  
(Cd中のRE/Pu)  
Cd: 14  
La: 71



# 金属電解法：塩処理工程 (TRU抽出) の回収率の設定根拠

●回収率とFP分離能力は、下記分離係数データと向流多段計算結果から設定<sup>1)</sup>

●平衡計算の妥当性は、Bi-Li/塩による下記、多バッチ抽出試験により確認<sup>2)</sup>

TABLE 3. Average separation factors for several actinides and rare earths in alkali-metal-rich salt/cadmium systems at 773±5 K

Actinide	Separation factor	Rare earth	Separation factor
U	1.00 (basis)	Ce	45 ± 6
Np	2.12 ± 0.42	Nd	39 ± 6
Pu	1.88 ± 0.09		
Am	3.08 ± 0.78		
Cm	3.52 ± 0.59		

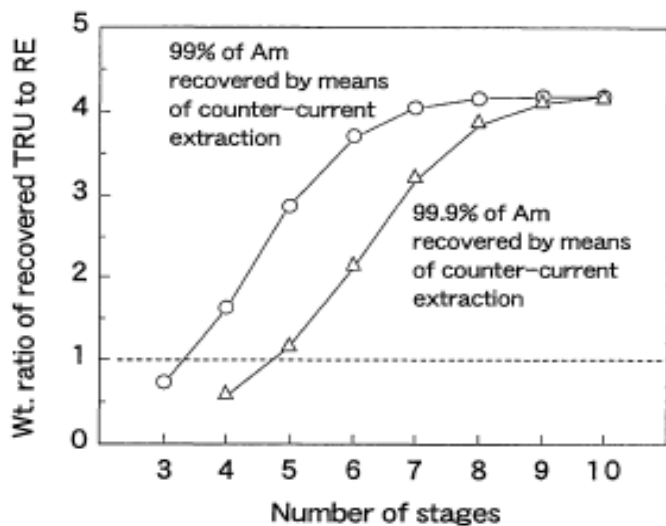


Fig. 4 Weight ratios of TRUs to REs calculated for 99% and 99.9% of Am recoveries by means of counter-current extraction in LiCl-KCl/Cd system at 723 K<sup>(3)</sup>

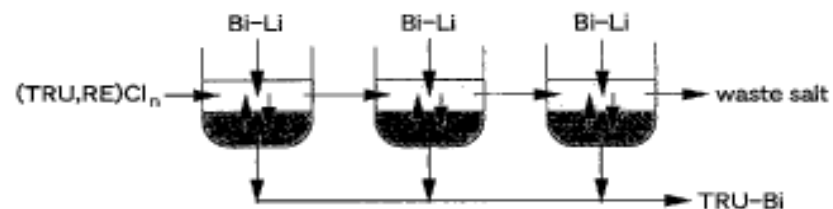


Fig. 2 Concept of multiple-batch extraction

Table 5 Calculated and measured recovery yields of different elements after 5th step of multiple-batch extraction

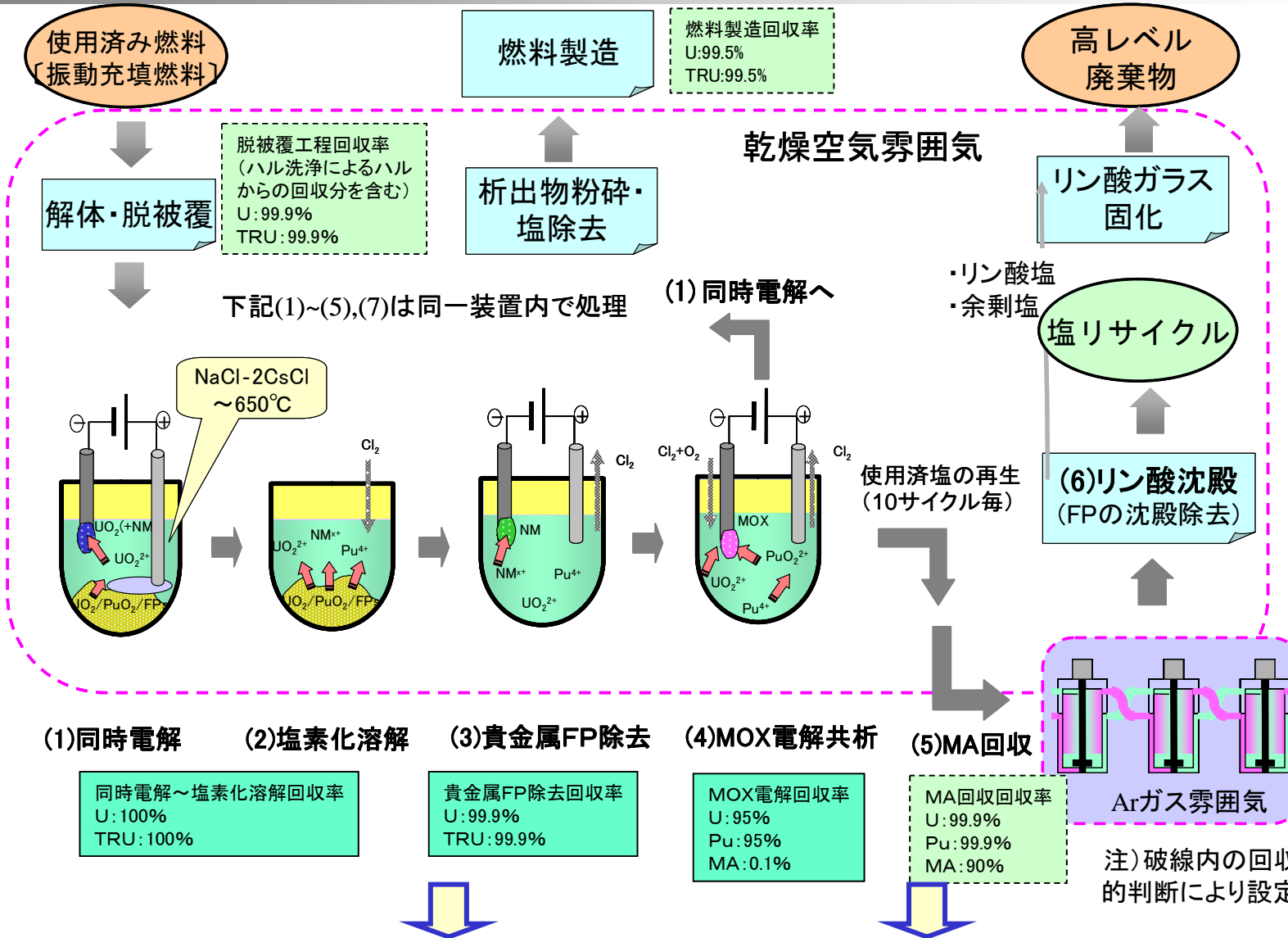
Element	Experimental (%)	Calculated (%)
U	99.30 ± 0.20	100
Np	99.93 ± 0.01	99.997
Pu	99.94 ± 0.01	99.986
Am	99.66 ± 0.03	99.809
Ce	20.54 ± 1.63	18.819
Pr	20.94 ± 1.66	17.125
Nd	16.34 ± 1.37	16.972
La	6.85 ± 0.64	6.735
Gd <sup>†</sup>	7.52 ± 0.70	1.706

参考文献:

- 1) T.Koyama et al., J. Alloys & Comp, 189, pp37-44(1992)
- 2) K.Kinoshita et al., J. Nucl. Sci. & Technol.,36[2],pp189-197(1999)



# 酸化物電解法+バイパック振動充填法における回収率の評価



燃料サイクルとしての回収率は、U, TRUで各々99%を満足できる可能性がある。(MA回収率90%以上が前提)  
 (再処理側: U=99.9%, TRU=99.3% 燃料製造側: U=99.5%, TRU=99.5%)



# 酸化物電解法:各工程の回収率の設定根拠

## ●貴金属FP除去工程の回収率

Uと貴金属を用いた分離電解試験結果<sup>1)</sup>、Uのロスは無かったことから回収率99.9%と設定した。

## ●同時電解～溶解工程の回収率

これまで、実施された5kg程度の使用済燃料における溶解残滓の分析データ(表1のリン酸塩沈殿物への移行率)<sup>2)</sup>より100%溶解すると判断した。

## ●MOX電解工程

H16年度に実施した使用済燃料試験(図1,2)により富化度30%のMOX回収に成功した。

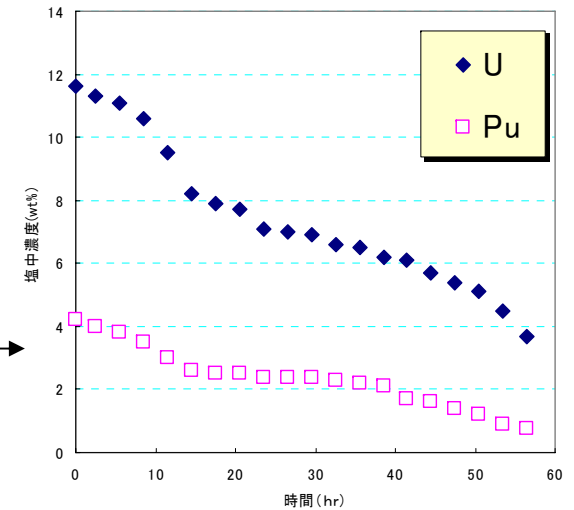


図1 MOX電解共析時の塩中濃度変化

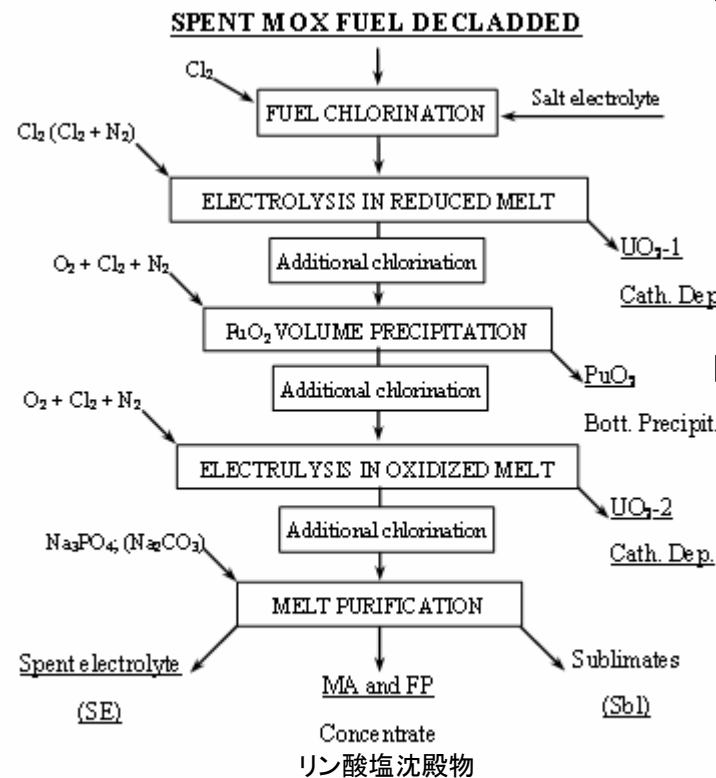


表1 左記試験における元素移行率 (ロシア原子力科学研究所にて実施)

Product	Distribution over Final Products, %	
	U	Pu
UO <sub>2</sub> -1	23.3	0.357
PuO <sub>2</sub>	0.482	95.0
UO <sub>2</sub> -2	73.5	1.10
リン酸塩沈殿物	0.000	0.000
SE	0.000	0.000



図2 使用済燃料試験で回収されたMOX(2.7kg) (ロシア原子力科学研究所にて実施)

Fig. 1. Principal flow sheet of the OEP demonstration tests<sup>4)5)</sup>

参考文献:

- 1) K.Mizuguchi et al., Proc. GLOBAL 2001, No.20(2001)
- 2) Vavilov et al., J. Nucl. Sci. & Technol.,41[10],pp1018-1025(2004)



## 5. 核不拡散抵抗性の評価





# 燃料サイクルシステムの核拡散抵抗性評価

## 設計要求

核物質防護、保障措置への対応を考慮した設計

プルトニウムが単体の状態で存在しないこと

低除染・TRU燃料の使用に伴う高線量化による接近性の制限

## 評価・判断の基準

遠隔監視・自動化技術等により核物質防護及び保障措置に関する制度の運用効率化と負荷低減を目指す。

プロセス上にプルトニウムが単体の状態で存在しない。

低除染・TRU燃料の使用に伴う高線量化による難接近性を確保する。



## 核物質防護、保障措置への対応を考慮した設計(1/3)

### 核物質防護の技術的要件

- ・障壁、侵入検知監視システム等の設置



従来と同等設備を施設設計へ取込んだ。

### 保障措置の技術的要件

- ・物質収支区域と分析・測定点の設定による物質収支と在庫変動の確定
- ・査察検認への対応
- ・封印、監視装置による封じ込め、監視の実施



- ・NRTA\*の採用を含めた現行保障措置の適用性を検討
- ・先進湿式法については成立する見通しであるが、金属電解法と酸化物電解法については計量精度に課題がある。
- ・保障措置の合理化可能性を検討

注)Near Real Time Accountingの略



## 核物質防護、保障措置への対応を考慮した設計(2/3)


IAEAの検認活動において、個々の物質収支区域につき、一定期間についての不明物質質量「MUF」(Material Unaccounted For)及びその正確さ限度「 $\sigma$ MUF」を明示する必要がある。

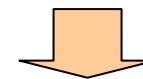
「 $\sigma$ MUF」 = 「計量測定精度」 × 「取扱核物質質量、在庫量（棚卸しまでの期間）」

達成の条件 ⇒  $\sigma$ MUF < 約 4 kg

### 物質収支期間200日の $\sigma$ MUF

	処理量(tHM)	$\sigma$ MUF(kg)
先進湿式法	200	106.2
金属電解法(再処理)	38	45.4
酸化物電解法(再処理)	50	15.1
簡素化ペレット法	200	52.5

対応：棚卸しまでの期間⇒短  施設の運転が困難



工程運転中に物質収支を確定し、核物質の不法移転を示す異常な変動を検知する手段：近実時間計量管理「NRTA」(Near Real Time Accounting)を採用し、物質収支期間200日を可能とした。

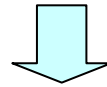




## 核物質防護、保障措置への対応を考慮した設計(3/3)

### 先進リサイクルシステムでの取扱い燃料の特徴

- ・U、TRU及びFPを含有するため直接利用物質にならない
- ・高放射線量及び発熱のため分離しにくい



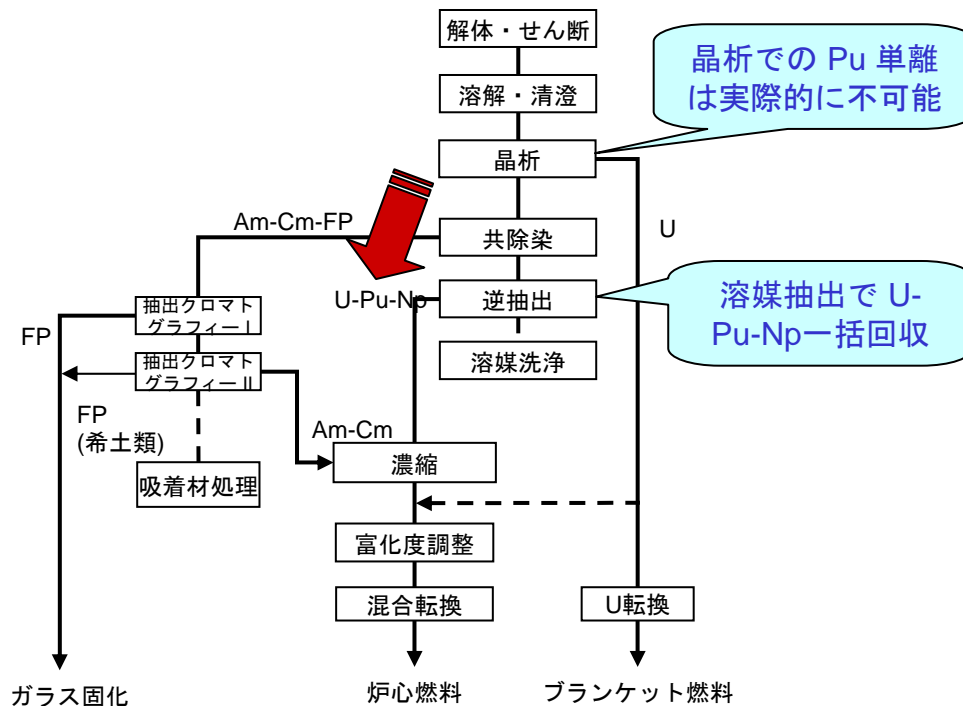
適時性目標(転用検知期間)を現行の直接利用物質の1ヶ月から  
使用済燃料並の3ヶ月に緩和が可能



# 先進湿式法: Pu が単体の状態で存在しないこと

## 先進湿式法における Pu の分配

- 溶媒抽出操作において、U-Pu-Npを一括回収
  - Pu を単離する技術的可能性を大きく低減
- 晶析法による U : Pu 比の調整
  - U を粗分離することにより行うが、晶析法では Pu を単離することは原理的に困難であり、溶解液からの Pu 分離は実際上不可能である



先進湿式法のフローシート

試験番号	元素	移行率 (%)		
		抽出残液	U/Pu/Np 製品	使用済み溶媒
Run 1	U	-	~100	-
	Pu	-	~100	-
	Np	~2	~98	-
Run 2	U	~0	~100	~0
	Pu	~0	~100	~0
	Np	~77	~23	~0

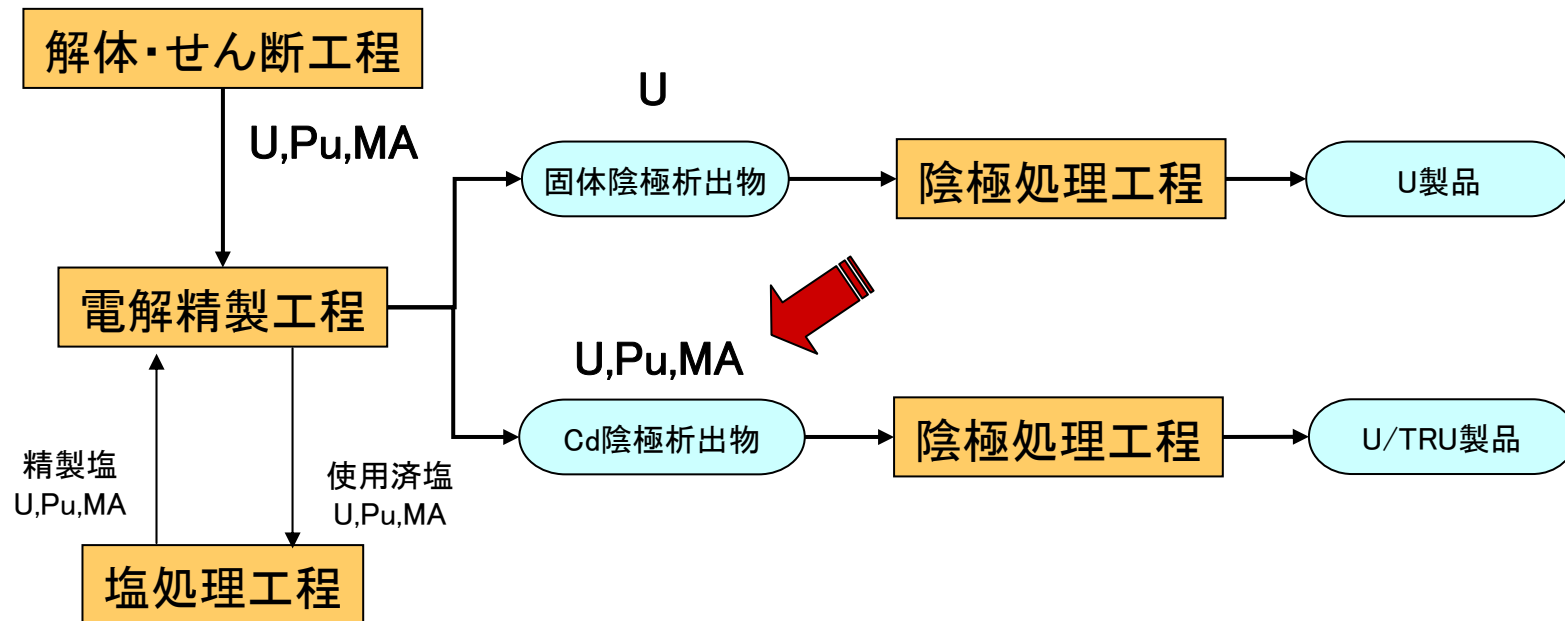
## 簡素化溶媒抽出による U と Pu の共回収試験

\* Actinides Recovery by Solvent Extraction in NEXT Process, GLOBAL 2005



# 金属電解法:Puが単体の状態で存在しないこと

## [金属電解法]

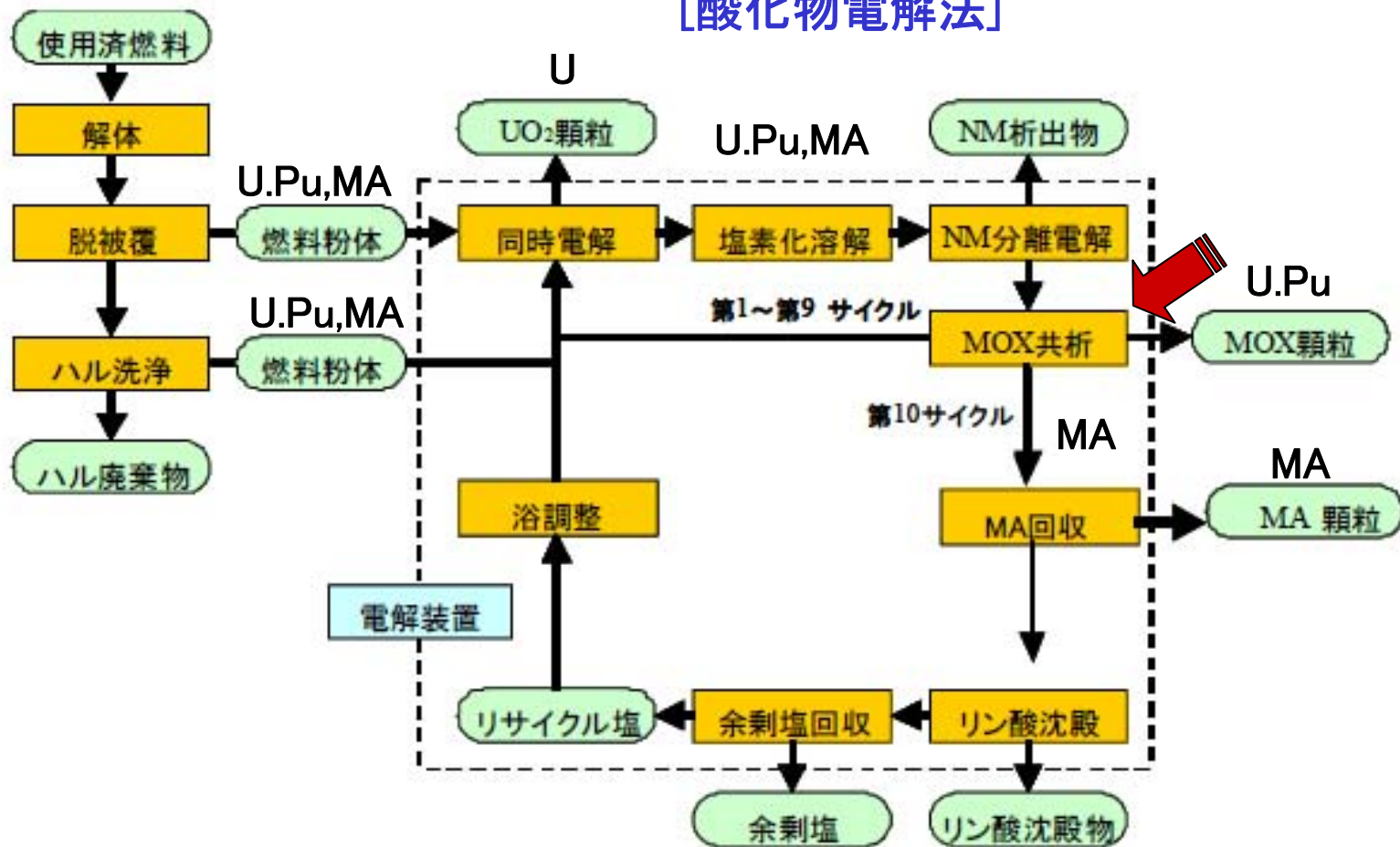


## 金属電解法プロセスフロー



# 酸化物電解法:Puが単体の状態で存在しないこと

## [酸化物電解法]

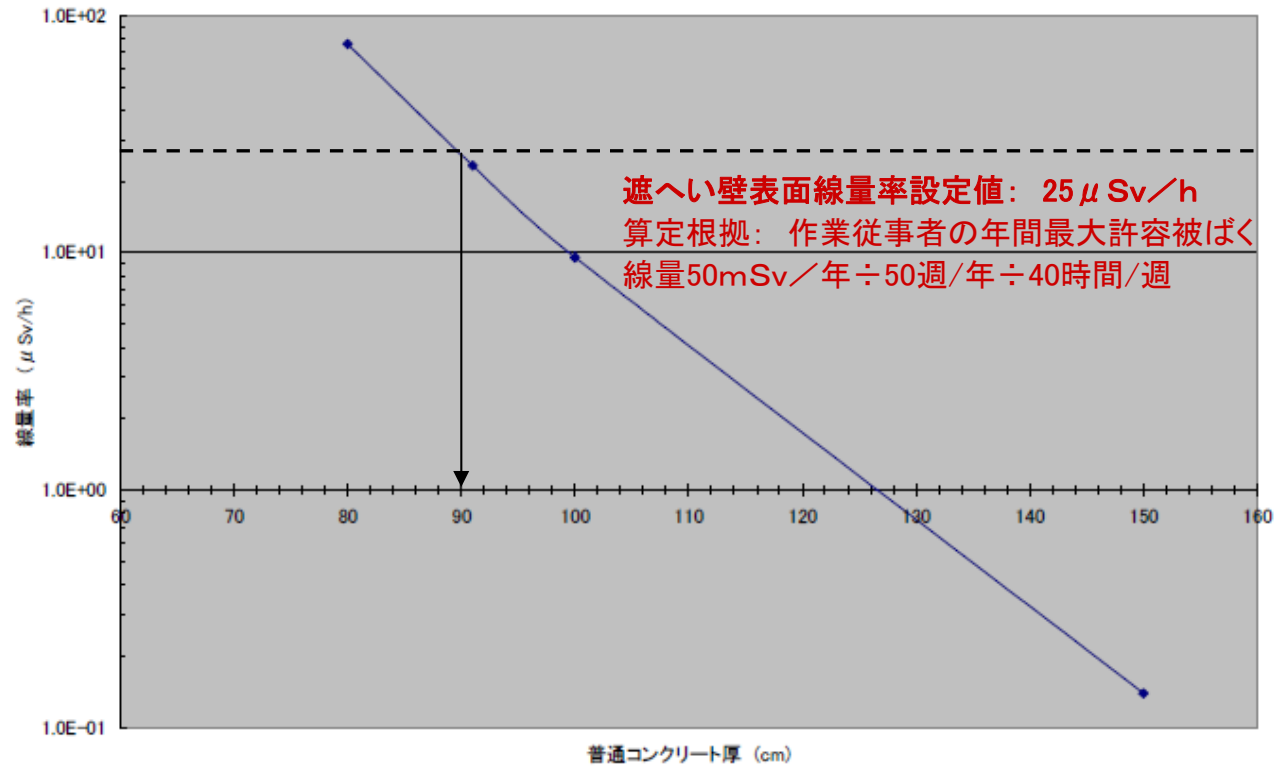


## 酸化物電解法プロセスフロー



# 低除染TRU燃料による高線量化で接近性の制限

## 簡素化ペレット法製造施設での遮へい厚評価の結果



## ペレット貯蔵庫評価例

核物質重量: 約240kgHM(Puは約50kg)

燃料組成: FP 約0.15wt.%、MA 約1.0wt.%

組成条件: 低除染再処理-燃料製造-FBR照射を繰り返した場合の平衡組成